



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL DEL TFG: Design and implementation of an ATS sector entry count computation program.

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria d'Aeronavegació

AUTOR: Adrià González Bellart

DIRECTOR: Marc Melgosa Farrés

DATA: 06 de setembre del 2018

Títol: Design and implementation of an ATS sector entry count computation program.

Autor: Adrià González Bellart

Director: Marc Melgosa Farrés

Data: 06 de setembre del 2018

Resum

L'objectiu principal d'aquest Treball de Fi de Grau és implementar un programa informàtic que permeti, a través d'una sèrie de dades de vols que contenen les trajectòries dels avions i la informació de la configuració de l'espai aeri (sectors oberts disponibles, geometria dels sectors, hora d'obertura i tancament, etc), calcular quins sectors creua cada aeronau durant la seva trajectòria, a quina hora ho fa, quina distància hi recorre i quanta estona hi passa.

La implementació d'aquest programa servirà per poder fer un estudi sobre la quantitat d'entrades que té cada sector i veure quins són els sectors amb més aflluència d'avions.

Per fer-ho, primerament s'explicarà com està organitzat l'espai aeri i quin tipus de zones controlades diferents existeixen així com la seva funcionalitat directa respecte les fases que té un vol.

Seguidament s'explicaran els formats de tots els arxius de dades que es faran servir, ja siguin de trajectòries de vols com d'informació de la configuració de l'espai aeri i l'explicació del tipus de contingut que tenen.

A continuació, es passarà a explicar l'estructura del programa com també la seva funcionalitat i les suposicions que s'han tingut en compte a l'hora de realitzar-lo. Per poder-lo validar s'ensenyaran també una sèrie d'exemples comparatius amb el programa NEST d'EUROCONTROL.

Finalment s'aplicarà el programa informàtic per realitzar un estudi amb dades reals de l'espai aeri a França en un dia i hores determinades. Això servirà per comprovar quins són els seus sectors més transitats i quina quantitat de vols hi creuen. Com es podrà comprovar, el sector més congestionat és el que envolta la ciutat de París.

Tot això es farà per dos formats d'arxius diferents, un que donarà la informació dels plans de vol enviats per les companyies aèries i l'altre que donarà la informació real de les rutes que es van dur a terme el mateix dia. Això servirà també per veure l'afectació de les regulacions que s'apliquen als vols de tota Europa per evitar la congestió de l'espai aeri.

Els resultats han donat una lleugera baixada en el nombre de vols dels sectors més transitats en benefici dels sectors amb menys quantitat de vols.

Title: Design and implementation of an ATS sector entry count computation program.

Author: Adrià González Bellart

Director: Marc Melgosa Farrés

Date: September 06th 2018

Overview

The main objective of this Bachelor Final Project is to design and implement a computation program in order to read the data of different flights (airplanes trajectories) and the configuration of the airspace (open sectors, geometry, etc.) in order to calculate the number of flights that crosses a sector. This will show which ones have the most aircraft entry rate.

To achieve this goal, firstly the organization of the airspace will be explained as well as the functionality of all of its structures and their relationship with the flight phases.

Secondly, the formats of all the data files used in this project will be mentioned as well as all of their characteristics and the information type they contain.

In addition, the structure of the programs made will be explained as well as their functionality and the assumptions that had been taken into account. In order to validate them, the EUROCONTROL program NEST will be used.

Finally, the program will be used in order to perform an analysis in the France airspace on a certain date and time. This will allow to observe its busiest sectors.

As it will be proved, the sector with more traffic entering is the one that surrounds Paris.

All this calculations will be made for two different types of file formats, one that represents the final flight plans sent by the airlines and the other that shows the paths done the day of the flight by the aircraft. With all that, the effect of the regulations made in the Europe flights will be shown.

The final results are a small decrease in the number of planes crossing the busiest sectors in comparison with the number of planes crossing the not congested ones.

A tota la meva família i amics
que m'han donat suport en els moments difícils

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1. MARC TEÒRIC	3
1.1. Fases de vol.....	3
1.2. Tipus d'espais aeris.....	4
1.2.1. FIR/UIR.....	4
1.2.2. ACC	6
1.2.3. TMA, CTA i AWY.....	7
1.2.4. CTR i ATZ.....	8
CAPÍTOL 2. FONTS D'INFORMACIÓ	11
2.1. DDR2	11
2.1.1. Contingut dels arxius de dades de vol	11
2.1.1.1. M1.....	11
2.1.1.2. M3.....	11
2.1.2. Format dels arxius de dades de vol	12
2.1.2.1. So6	12
2.1.2.2. T5.....	14
2.2. Format dels arxius de l'espai aeri	15
2.2.1. Airblocks	16
2.2.2. Sectors	17
2.2.3. Collapsed Sectors	19
2.2.4. Configurations	21
2.2.5. Opening Scheme.....	22
CAPÍTOL 3. PROGRAMA INFORMÀTIC	25
3.1. Programa So6_to_T5	25
3.1.1. Estructura	25
3.1.1.1. Classes.....	25
3.1.1.2. Funcionament.....	27
3.1.2. Exemples de validació.....	31
3.2. Programa Sector_Entry_Count	36
3.2.1. Estructura	36
3.2.1.1. Classes.....	37
3.2.1.2. Funcionament.....	37
CAPÍTOL 4. ESTUDI DE L'ESPAI AERI A FRANÇA	39
4.1. Bases de l'estudi.....	39
4.2. Resultats	39
CONCLUSIONS.....	45
BIBLIOGRAFIA	47

ÍNDIX DE FIGURES

Fig. 1.1 Fases de vol	3
Fig. 1.2 Mapa UIR sud-oest d'Europa	5
Fig. 1.3 Mapa FIR sud-oest d'Europa.....	6
Fig. 1.4 Mapa ACC de l'Espanya peninsular	7
Fig. 1.5 Esquema de les TMA/CTA i les AWY.....	8
Fig. 1.6 Esquema de les CTR	8
Fig. 1.7 Esquema d'un ATZ.....	9
Fig. 1.8 Esquema general dels tipus d'espais aeris	9
Fig. 1.9 Esquema general dels tipus d'espais aeris a Espanya incloent FIR/UIR	10
Fig. 2.1 Exemple d'arxiu So6 per a 2 vols	13
Fig. 2.2 Exemple d'arxiu T5 per a un sector creuat per 6 vols.....	15
Fig. 2.3 Exemple d'arxiu ARE per a un Airblock amb 13 punts	16
Fig. 2.4 Exemple de sector format per 3 Airblocks amb diferents altituds	17
Fig. 2.5 Exemple de sectors i el seu equivalent tipus d'espai aeri.....	18
Fig. 2.6 Exemple d'arxiu SLS per a 3 sectors diferents.....	18
Fig. 2.7 Exemple d'arxiu SPC de 4 Collapsed Sectors diferents	19
Fig. 2.8 Exemple d'arxiu CFG per diferents ACC	21
Fig. 2.9 Exemple d'arxiu COS del 6 de febrer del 2014	23
Fig. 3.1 Esquema del cos del programa.....	28
Fig. 3.2 Esquema de la funció de la creació del T5.....	30
Fig. 3.3 Exemple de trajectòria assumida en aquest projecte	31
Fig. 3.4 Localització de la ciutat de Brest a França	32
Fig. 3.5 Resultat de la prova 1 al CLion	32
Fig. 3.6 Resultat de la prova 1 al Google Earth.....	33
Fig. 3.7 Resultat de la prova 1 al NEST	33
Fig. 3.8 Resultats de la prova 2 al CLion.....	34
Fig. 3.9 Resultats de la prova 2 al Google Earth	35
Fig. 3.10 Comparació de resultats dels T5 de la prova 2	35
Fig. 3.11 Exemple de mapa amb tots els Airblocks oberts el dia 01/03/2018 a les 13:37 hores amb Google Earth.....	36
Fig. 4.1 Sectors amb més entrades a l'espai aeri francès (M1).....	40
Fig. 4.2 Sector LFFFEGA.....	41
Fig. 4.3 Sector LFBBP1234.....	41
Fig. 4.4 Sector LFBBFBDX.....	41
Fig. 4.5 Sector LFBBRL12.....	42
Fig. 4.6 Imatge dels 4 sectors amb més entrades a França.....	43
Fig. 4.7 Sectors amb més entrades a l'espai aeri francès (M3).....	43

ÍNDIX DE TAULES

Taula 2.1 Descripció dels camps del fitxer So6.....	13
Taula 2.2 Descripció dels camps del fitxer T5.....	15
Taula 2.3 Descripció dels camps del fitxer ARE.....	16
Taula 2.4 Descripció dels camps del fitxer SLS	18
Taula 2.5 Descripció dels camps del fitxer SPC.....	20
Taula 2.6 Descripció dels camps del fitxer CFG.....	22
Taula 2.7 Descripció dels camps del fitxer COS	23
Taula 4.1 Resultat en nombre de vols (M1).....	40
Taula 4.2 Resultat en nombre de vols (M3).....	44

ABREVIACIONES

ACC	Area Control Center
AIRAC	Aeronautical Information Regulation and Control
ATC	Air Traffic Controller
ATFM	Air Traffic Flow Management
ATS	Air Traffic Service
ATZ	Aerodrome Traffic Zone
AWY	Airway
CTA	Control Area
CTFM	Current Tactical Flight Model
CTR	Control Traffic Region/Control Zone
DDR2	Demand Data Repository
ECAC	European Civil Aviation Conference
ECEF	Earth-Centered Earth-Fixed
ETFMS	Enhanced Tactical Flow Management System
FIR	Flight Information Region
FL	Flight Level
FTFM	Filed Tactical Flight Model
GASEL	Generic ATFM Simulator Engine and Library
ICAO	International Civil Aviation Organization
LLA	Latitude Longitude Altitude
NEST	Network Strategic Tool
SAAM	System for Traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level
TMA	Terminal Maneuvering Area/Terminal Control Area
UIR	Upper Information Region
UTC	Universal Time Coordinated
WGS 84	World Geodetic System 1984

INTRODUCCIÓ

Durant els últims anys, el sector de l'aeronàutica ha crescut enormement . La quantitat d'avions que sobrevolen Europa està arribant a uns nivells tan alts que el seu espai aeri està tenint problemes per absorbir-los. Cada any la demanda de passatgers va creixent a tal punt que s'espera que es dupliqui al 2036 [1] mentre que la capacitat es manté, cosa que està fent arribar als sectors aeris al seu punt de saturació. És per això que un dels apartats en què s'enfoquen molts projectes avui dia a nivell d'enginyeria aeronàutica tracten sobre l'estudi de l'espai aeri, per tal de poder optimitzar-lo.

Mitjançant aquest projecte, es pretén assolir un apropament sobre els coneixements dels programes i les dades que s'utilitzen a l'hora de fer aquests estudis de recerca. Així mateix es pretén crear un programa propi que permeti comptar i calcular la quantitat d'avions que creuen en un sector determinat ja que el programa que s'utilitza per fer aquest còmput (NEST) no és útil per fer processos amb moltes simulacions diferents. A més, al tenir fet el programa en un llenguatge específic (c++ en aquest cas), permetrà integrar-lo amb més facilitat a altres programes com el Dynamo, un programa desenvolupat pel grup de recerca Icarus i que permet optimitzar trajectòries de vol.

Per fer-ho s'utilitzarà el propi NEST per validar-lo.

El codi desenvolupat servirà per poder fer un estudi del trànsit d'un espai aeri determinat, en concret en aquest treball s'estudiarà la quantitat de vols que passen pels sectors aeris de França.

En el capítol 1 es donaran a conèixer les fases d'un vol comercial i com està organitzat l'espai aeri en funció d'això. En el capítol 2 s'explicaran els diferents formats de les dades amb les que es treballaran en aquest projecte. En el capítol 3 es mostrarà l'estructura dels dos programes realitzats així com el seu funcionament. Finalment al capítol 4 es farà l'estudi de la quantitat de vols que passen per l'espai aeri francès en un dia i hores determinades.

CAPÍTOL 1. MARC TEÒRIC

A causa que aquest treball està molt enfocat a l'estudi sobre l'espai aeri i en concret a l'espai aeri europeu, abans de començar és necessari entendre com funciona aquest i com està organitzat.

Es per això que aquest primer capítol es centra en explicar els tipus d'espais aeris que existeixen, les seves característiques i com es relacionen els uns amb els altres per poder formar un sol entramat que després serà el que s'estudiarà.

1.1. Fases de vol

Per poder entendre millor per què l'espai aeri està dividit i organitzat d'una manera determinada, és important saber com es mou un avió durant el seu trajecte i per a quines fases de vol passen les aeronaus ja que, al ser aquests els principals vehicles que es mouran per l'espai aeri, lògicament les estructures creades per organitzar tot el que hi passa es veuran fortament influenciades per poder afavorir el transport i el control eficient entre tots els avions.

Cal tenir en compte que aquestes explicacions són principalment vàlides per a vols comercials (vols de transport de passatgers o mercaderies amb sortida i arribada a un aeroport) ja que són els més majoritaris i per tant els que més afectaran en el nostre estudi.

Les principals fases en que passa una aeronau durant un vol són les que podem veure a la següent figura [\(Fig. 1.1\)](#):

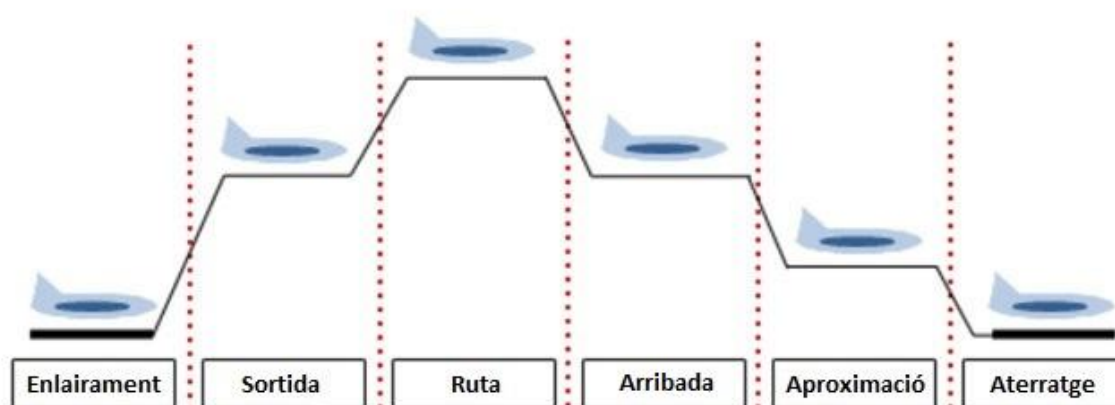


Fig. 1.1 Fases de vol

- Enlairament

És la fase en què una aeronau, després de sortir del punt on estava estacionada i haver fet el rodatge fins la pista d'enlairament, comença a accelerar per poder agafar una velocitat suficient que la permeti sustentar-se a l'aire i començar el seu ascens.

Normalment es considera que la fase d'enlairament s'acaba quan s'assoleixen 35 ft d'alçada.

- Sortida

O també anomenada etapa d'ascens, és l'etapa on l'aeronau agafa velocitat i altitud suficient per arribar als paràmetres de vol de creuer, paràmetres amb els quals s'intenta aconseguir un consum òptim durant la majoria del vol.

- Ruta

És l'etapa més llarga i compren la major part del vol. En aquesta fase, l'avió vola amb els paràmetres de vol de creuer anomenats anteriorment.

- Arribada

En aquesta fase, l'aeronau ja està arribant a la seva destinació i per tant abandona el vol de creuer per començar el seu descens sobre l'aeroport d'arribada.

- Aproximació

Un cop es té l'autorització pertinent, és la fase en què l'aeronau continua el seu descens i s'encara sobre la pista per preparar-se per l'aterratge.

- Aterratge

És l'última fase de vol en la qual l'avió realitza les maniobres pertinents fins que el seu tren d'aterratge toca la pista i frena suficientment per poder realitzar el rodatge a la seva nova posició d'estacionament.

1.2. Tipus d'espais aeris

Per fer l'explicació dels diferents espais aeris que existeixen, es dividiran en diferents grups segons el seu nivell estructural, de més grans a més petits.

1.2.1. FIR/UIR

Les FIR (Flight Information Region) o regions d'informació de vol i les UIR (Upper Information Region) o regions d'informació superior (també anomenades com espai aeri inferior i superior respectivament), són els tipus d'espais aeris més grans ja que són les zones que comprenen més espai tan

en vertical com en horitzontal. Aquestes zones són una separació política entre estats que divideix les regions de vol controlades per dos països veïns de manera que al passar a la FIR d'un altre estat, l'avió també passa a estar controlat per aquest altre estat.

Tot i ser una separació política, les seves formes poden no coincidir del tot amb les fronteres geogràfiques (encara que s'assemblin) ja que a través de convenis aquestes es poden modificar lleugerament per millorar l'eficiència del control aeri, per exemple en cas d'haver un aeroport molt proper a una frontera (convé que la fase final del vol amb destinació a aquest aeroport estigui compresa dins la mateixa zona de control) o de regions marítimes.

També és possible que per millorar el control d'aquestes zones, en països grans o amb espais aeris força concorreguts, existeixin diferents FIR/UIR enlloc d'una exclusiva que englobi tota la regió.

A les figures [\(Fig. 1.2\)](#) i [\(Fig. 1.3\)](#) podem veure el mapa de les regions UIR i FIR respectivament de la zona del sud-oest d'Europa [\[2\]](#):

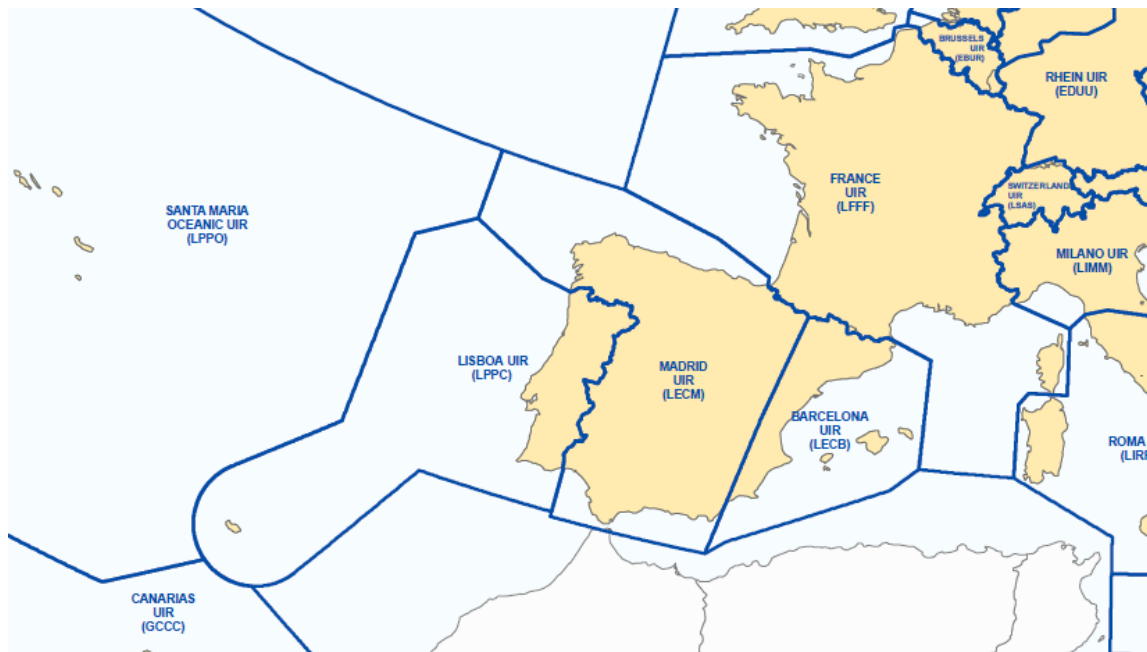


Fig. 1.2 Mapa UIR sud-oest d'Europa

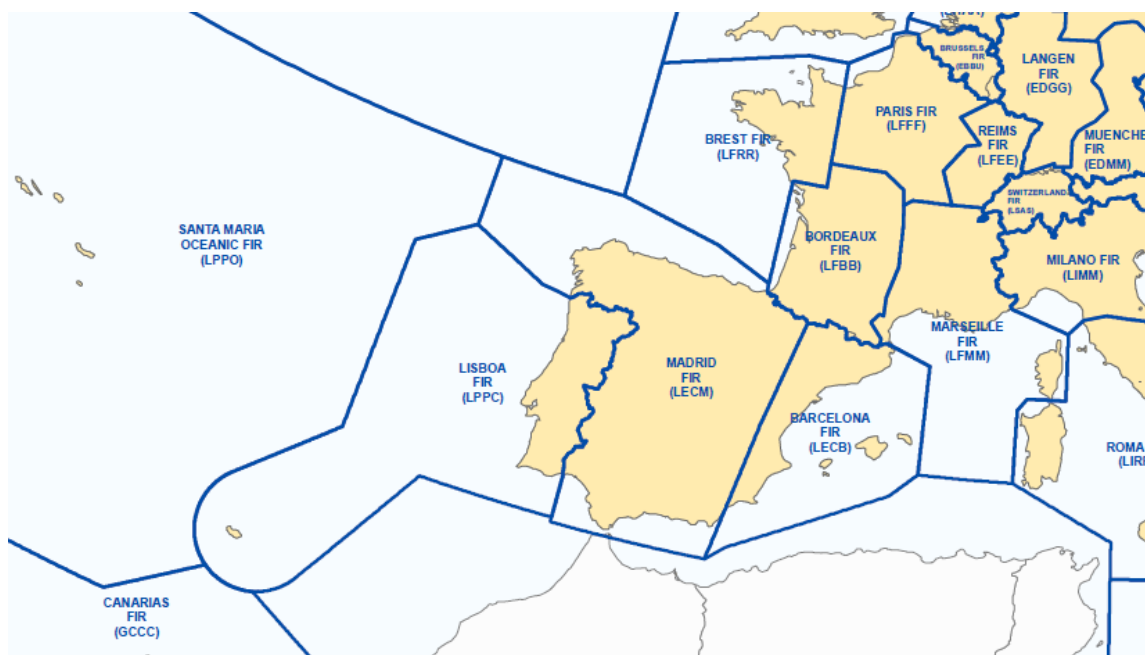


Fig. 1.3 Mapa FIR sud-oest d'Europa

Com es pot comprovar per agafar un exemple, tan Espanya com Portugal estan dividides en diferents regions FIR degut al gran espai que engloben (tant terrestre com marítim en el cas de Portugal).

Un altre aspecte a destacar seria la divisió que té França en què només té una regió UIR però el seu espai aeri inferior està separat en diferents FIR.

Pel que fa a l'altitud, cada país en té la seva pròpia legislació: així com a França les regions FIR inclouen tot l'espai per sota de FL (Flight Level) 195 i la zona UIR n'inclou tot el que va des d'aquest nivell cap amunt de manera il·limitada, a Espanya per exemple les FIR només estan obligades a donar informació des de FL 150 fins FL 245 i la zona UIR aniria des d'aquest nivell fins a FL 460.

1.2.2. ACC

L'ACC (Area Control Center) o centre de control d'àrea no és un espai aeri en si, sinó unes zones (que comprenen totes les altituds) en les quals es divideixen les regions. D'aquesta manera tota la zona que queda dins un ACC es controla des d'un sol centre de control aeri. Normalment la forma d'un ACC coincideix amb la d'una FIR/UIR però a vegades per millorar la distribució pot ser que una FIR contingui més d'un ACC. És per aquest motiu pel qual tot i no ser un tipus d'espai aeri en concret, està explicat just després de les FIR/UIR.

En el cas d'Espanya, com es pot comprovar en la figura [\(Fig. 1.4\)](#), la FIR de Madrid està dividida en 2 ACC (Madrid i Sevilla) i la FIR de Barcelona en canvi tota la FIR està inclosa dins de l'ACC de Barcelona, la qual està controlada al centre de control aeri de Gavà.



Fig. 1.4 Mapa ACC de l'Espanya peninsular

1.2.3. TMA, CTA i AWY

Una TMA (Terminal Maneuvering Area/Terminal Control Area) o àrea de control terminal és una zona de control força gran que rodeja els aeroports principals o amb més densitat de trànsit aeri. Aquestes engloben una zona extensa des de l'aeroport que li dona nom i pot expandir-se per sobre d'altres aeroports secundaris propers al principal. Les TMA però no arribaran mai a tocar el terra ja que han de deixar un petit espai de lliure circulació per a aeronaus que vulguin volar en condicions visuals. Aquest marge és de com a mínim 1000 ft a Espanya. La utilitat de les TMA és poder controlar i guiar els avions en les seves fases tant de sortida com d'arribada a tots els aeroports continguts dins la TMA.

Una CTA (Control Area) o area de control és el mateix que una TMA però per aeroports més petits i amb menys trànsit aeri. Tot i seguir les mateixes regles que les TMA, les CTA acostumen a ser més petites i per tant no engloben aeroports propers. Són per tant les zones de control de sortides i arribades d'aeroports que no estan inclosos dins una TMA.

Un cop una aeronau ha arribat a la seva fase de creuer ha de poder sortir de la zona de control de l'aeroport de sortida per dirigir-se a la zona de control de l'aeroport d'arribada. Per poder fer-ho existeix el que anomenem AWY (Airway) o aerovies les quals són com unes carreteres delimitades a l'espai que permeten regular el flux d'aeronaus en la seva fase de creuer.

Aquestes per tant permeten guiar els vols durant el seu trajecte ja sigui dins una FIR, una UIR (la zona més habitual durant el vol de creuer) o una TMA.

D'aquesta manera les aerovies permeten connectar les diferents zones de control d'un aeroport qualsevol a un altre.

A la següent figura ([Fig. 1.5](#)) es pot visualitzar millor tota aquesta explicació:

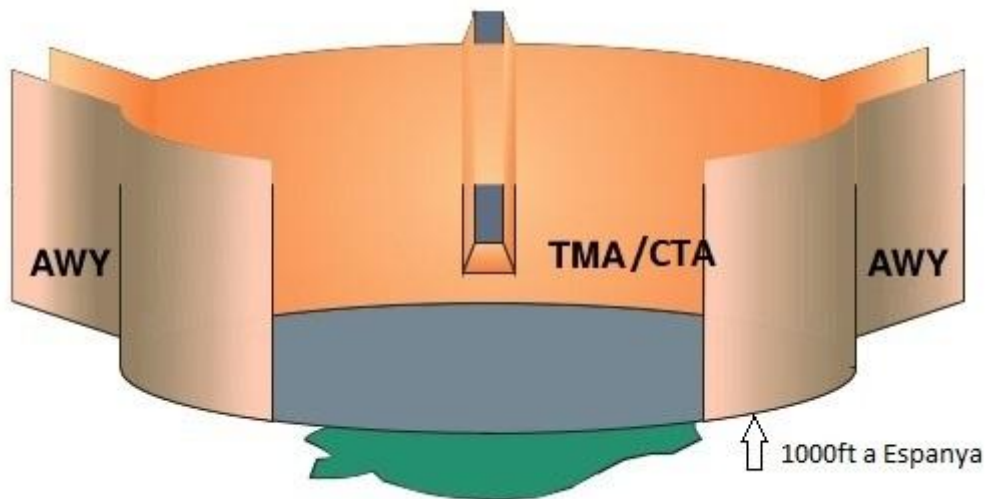


Fig. 1.5 Esquema de les TMA/CTA i les AWY

1.2.4. CTR i ATZ

Una CTR (Control Traffic Region/Control Zone) o zona de control és una zona al voltant d'un aeroport més petita que les TMA i CTA.

Tal com passa amb les TMA, si dos aeroports/aeròdroms són molt propers, pot ser que només hi hagi una zona de control per als dos.

Al contrari que les àrees de control terminal però, les CTR van des del terra fins a una altitud determinada ([Fig. 1.6](#)) ja que al ser una zona més petita i propera a l'aeroport, serveixen per controlar els avions en fase de sortida o en fase d'aproximació a l'aeroport.

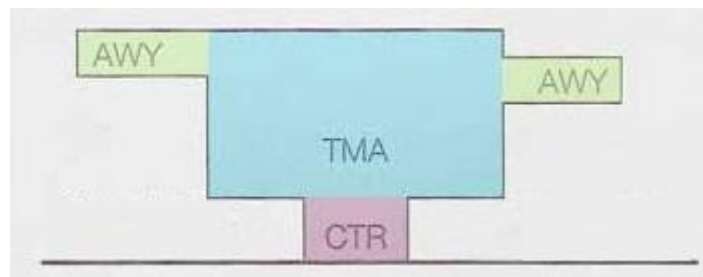


Fig. 1.6 Esquema de les CTR

Finalment, una ATZ (Aerodrome Traffic Zone) o zona de trànsit d'aeròdrom és la zona més petita de totes i està inclosa dins d'una CTR ([Fig. 1.7](#)).

Al contrari de les àrees de control terminal o les zones de control, les zones de trànsit d'aeròdrom no poden ocupar zones d'altres aeroports i per tant són individuals ja que cada aeroport, independentment de la seva importància, en té una.

Les zones ATZ van des de la superfície terrestre fins una altitud específica formant generalment un cilindre d'un radi aproximat de 8 km.

Al ser la zona més propera a l'aeroport, aquesta està supervisada pels controladors de la torre de control de l'aeroport en qüestió i s'hi duen a terme tan les fases d'enlairament com d'aterratge així com els respectius rodatges.

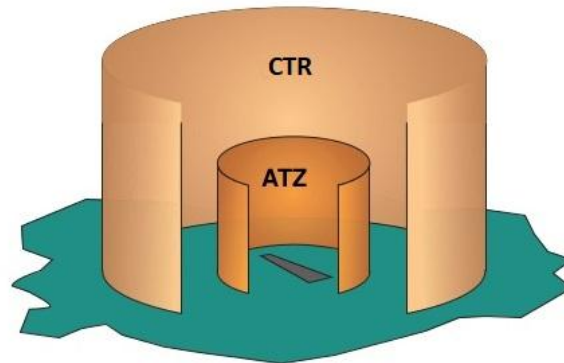


Fig. 1.7 Esquema d'un ATZ

A la figura [\(Fig. 1.8\)](#) es pot veure un esquema general de totes les zones de control properes als aeroports:

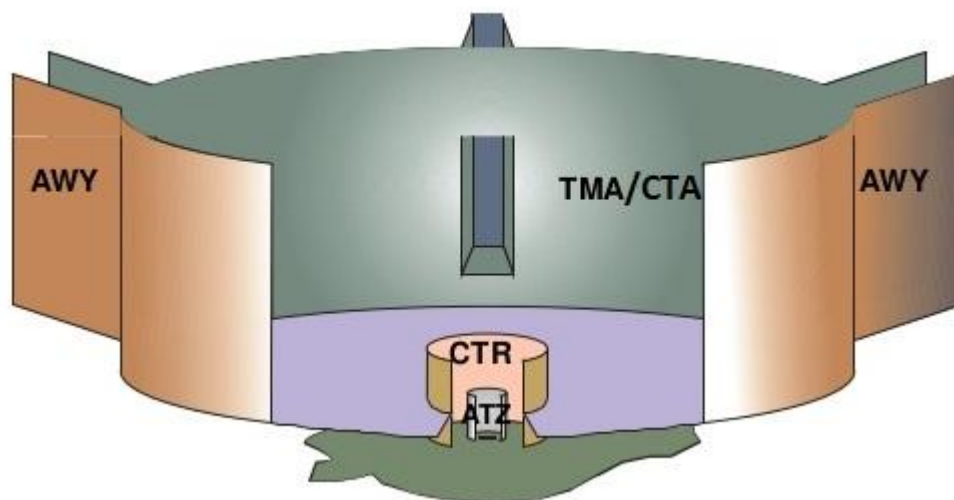


Fig. 1.8 Esquema general dels tipus d'espais aeris

Finalment comentar que totes les zones explicades anteriorment així com els espais controlats que queden fora de les TMA, CTA, AWY, CTR i ATZ formen part del control de ruta dins una FIR o UIR tal i com podem observar en la figura [\(Fig. 1.9\)](#) a no ser que es tractin de zones restringides o prohibides (zones en les quals un estat té la potestat de fer-les accessibles o no com poden ser per exemple les zones militars).

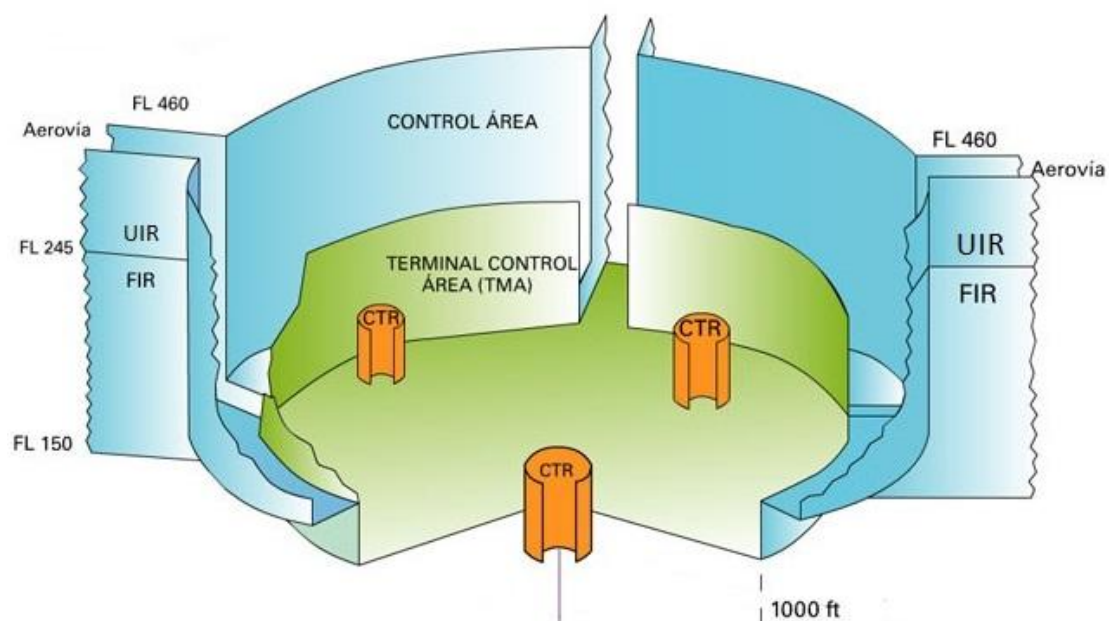


Fig. 1.9 Esquema general dels tipus d'espais aeris a Espanya incloent FIR/UIR

CAPÍTOL 2. FONTS D'INFORMACIÓ

Degut a que l'objectiu final d'aquest projecte és fer un estudi de capacitat de sectors reals amb dades de vols reals, el primer que hem de fer abans d'explicar com s'ha fet l'estudi és familiaritzar-nos amb els diferents formats de les nostres dades, objectiu principal d'aquest capítol.

2.1. DDR2

Ja que el que es necessitarà seran les dades més verídiques possibles, l'organització que ha facilitat aquestes dades és l'Organització Europea per la Seguretat de la Navegació Aèria o EUROCONTROL a través del seu portal d'històric de dades de vol DDR2 (Demand Data Repository) o dipòsit de demanda de dades, accessible a través del seu portal web OneSky [\[3\]](#).

Gràcies a aquesta pàgina web, es poden obtenir (amb previ accés i autorització) les dades dels vols que passen per la zona europea durant un dia determinat.

2.1.1. Contingut dels arxius de dades de vol

Un cop s'ha entrat al portal DDR2 per descarregar les dades, aquest dona la opció d'obtenir 2 tipus d'arxius diferents en funció de la informació que contenen.

2.1.1.1. M1

Model 1 flight information o M1 conté la informació de la ruta de tots els vols que passen per Europa acceptats per Eurocontrol i capturats per l'ETFMS (Enhanced Tactical Flow Management System) abans de què es duixin a terme.

Per tant en general el model de dades M1 conté les dades de l'últim pla de vol presentat per les companyies aèries després de totes les modificacions, també anomenat FTFM (Filed Tactical Flight Model).

2.1.1.2. M3

Model 3 flight information o M3 també conegut com CTFM (Current Tactical Flight Model) es tracta de les trajectòries en 4D que es van volar realment en el dia seleccionat. Aquestes es creen a partir del FTFM i es modifiquen amb les dades del RADAR perquè doni les trajectòries volades finalment, que poden tenir modificacions, ja siguin per regulacions d'ETFMS o per maniobres dictaminades pels controladors aeris (directes, vectors, etc).

L'ETFMS és el sistema d'EUROCONTROL que compara la demanda de trànsit aeri (a través de tots els plans de vol rebuts de companyies aèries) i la capacitat de tots els sectors ATS (Air Traffic Service), o sectors amb servei de

trànsit aeri, per poder fer les modificacions pertinents en els plans de vol en cas de detectar que un sector ATS estarà congestionat (tindria més entrades d'avions per hora que la seva capacitat declarada). Aquestes modificacions s'han d'implementar per evitar que un ATC (Air Traffic Controller) tingui, en el moment que es volarien els vols programats, una càrrega de treball per sobre del permès, podent entrar així en una situació de risc.

Les diferències entre M1 i M3 poden consistir tant en retards en el pla de vol com en desviacions de la ruta o canvis en el nivell de vol. Aquestes però només es tenen en compte si hi ha desviacions respecte el pla de vol acceptat més grans a:

- 5 minuts de diferència en un punt de pas del pla de vol (Waypoint)
- 7 FL de diferencia d'altitud
- 20 NM de desviació de la ruta programada

La freqüència del radar utilitzada per crear aquestes dades és d'1 minut.

En cas de que la desviació no sigui major als paràmetres mencionats, la quantitat de punts establerts al M3 serà el mateix que al M1. Aquestes dades representen les trajectòries més precises dels vols realitzats realment el dia de la seva operació per l'entorn d'EUROCONTROL i són representatives de la fase tàctica de la operació.

Cal recalcar que també existeix un altre tipus d'arxiu d'EUROCONTROL anomenat M2 (Model 2 flight information) el qual es tracta dels plans de vol inicials (fitxer M1) però amb les trajectòries regulades amb un retard per part de l'ATFM (Air Traffic Flow Management). Per tant pels vols que no tenen un retard, el format M1 i el format M2 contenen la mateixa informació.

Aquest fitxer però no es troba disponible al portal DDR2 i per tant no ha estat fet servir en aquest projecte.

2.1.2. Format dels arxius de dades de vol

A l'hora de descarregar els arxius dels vols al DDR2, aquests, siguin M1 com M3, tenen un format determinat de lectura.

El format dels arxius de dades de vol estan organitzats per ser utilitzats pel programa de simulació d'EUROCONTROL, el NEST [\[4\]](#) (Network Strategic Tool), un programa pensat per ajudar a les entitats que donen servei a l'espai aeri de cada país per poder dissenyar aquest espai aeri i fer simulacions de possibles escenaris de diferents trànsits aeris. Aquest també pot ser utilitzat per fer recerca sobre l'espai aeri europeu, com és el cas d'aquest treball de fi de grau.

2.1.2.1. So6

El format So6 (.so6) és el format per excel·lència utilitzat al DDR2 per proporcionar la informació de dades de vol. Aquest consisteix en un fitxer de text on cada fila del fitxer correspon a un segment d'un vol (o pla de vol en cas

de ser M1). D'aquesta manera, llegint totes les files del So6 obtindrem totes les dades de les trajectòries dels vols que contingui l'arxiu seleccionat.

A la figura [\(Fig. 2.1\)](#) es pot veure un exemple d'un d'arxiu So6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DAAG_ALR	DAAG	LEBL	B727	150000	150045	0	21	0	DAH2012	970905	970905	2202	193	2200	190	110	1	2.34	0
ALR_\$aaaa	DAAG	LEBL	B727	150045	151725	21	330	0	DAH2012	970905	970905	2200	190	2298	222	110	2	21	0
\$aaaa_MHN	DAAG	LEBL	B727	151725	153013	330	320	2	DAH2012	970905	970905	2298	222	2391	253	110	3	12	2
MHN_\$aaab	DAAG	LEBL	B727	153013	153632	320	320	2	DAH2012	970905	970905	2391	253	2423	207	110	4	3.89	2
\$aaab_TASOS	DAAG	LEBL	B727	153632	154356	320	145	2	DAH2012	970905	970905	2423	207	2456	158	110	5	18.5	2
TASOS_QUV	DAAG	LEBL	B727	154356	155155	145	4	2	DAH2012	970905	970905	2456	158	2477	125	110	6	14.45	2
QUV_LEBL	DAAG	LEBL	B727	155155	155213	4	0	2	DAH2012	970905	970905	2477	125	2477	124	110	7	11	2
EBBR_BRU	EBBR	EKBI	B73V	173000	173100	0	18	0	DAN258	970905	970905	3054	269	3054	262	462	1	2.3	0
BRU_NIK	EBBR	EKBI	B73V	173100	173516	18	93	0	DAN258	970905	970905	3054	262	3070	251	462	2	7	0
NIK_%EH21	EBBR	EKBI	B73V	173516	173842	93	150	0	DAN258	970905	970905	3070	251	3086	241	462	3	45	0
%EH21_SPY	EBBR	EKBI	B73V	173842	174958	150	285	0	DAN258	970905	970905	3086	241	3152	291	462	4	56.7	0
SPY_GRONY	EBBR	EKBI	B73V	174958	175618	285	339	0	DAN258	970905	970905	3152	291	3183	346	462	5	2.34	0
GRONY_\$aage	EBBR	EKBI	B73V	175618	180012	339	370	0	DAN258	970905	970905	3183	346	3197	386	462	6	21	0
\$aage_BEDUM	EBBR	EKBI	B73V	180012	180059	370	370	2	DAN258	970905	970905	3197	386	3200	395	462	7	12	2
BEDUM_NL1	EBBR	EKBI	B73V	180059	180320	370	370	2	DAN258	970905	970905	3200	395	3213	415	462	8	3.89	2
NL1_\$aagf	EBBR	EKBI	B73V	180320	180802	370	370	2	DAN258	970905	970905	3213	415	3247	437	462	9	11	2
\$aagf_VES	EBBR	EKBI	B73V	180802	182220	370	103	2	DAN258	970905	970905	3247	437	3336	498	462	10	2.3	2
VES_EKBI	EBBR	EKBI	B73V	182220	183034	103	0	2	DAN258	970905	970905	3336	498	3344	549	462	11	7	2

Fig. 2.1 Exemple d'arxiu So6 per a 2 vols

Tenint en compte que els valors de cada columna estan separats per un espai, a continuació es mostra en la següent taula [\(Taula 2.1\)](#) el seu significat exacte de cada camp:

Taula 2.1 Descripció dels camps del fitxer So6

#	Explicació
1	Identificador del segment amb el nom del punt inicial i el punt final del segment separats per "_". El nom del punt ha de ser de 4 dígitos si es tracta d'un aeroport o de 3 o 5 dígitos si es tracta d'un punt de ruta. Un punt de ruta anomenat "!" seguit de 4 dígitos més significa que es tracta d'un punt de ruta sense nom (cas per exemple que l'avió no estigui sobre un punt de ruta definit a l'espai aeri amb un nom però si se'n saben les coordenades).
2	Codi ICAO (Organització d'aviació civil internacional) de l'aeroport de sortida del vol.
3	Codi ICAO de l'aeroport de destí del vol.
4	Tipus d'avió que opera el vol.
5	Temps d'inici del segment en format HHMMSS.
6	Temps final del segment en format HHMMSS.
7	FL inicial del segment.
8	FL final del segment.
9	Estat del vol on 0 = ascens, 1 = descens i 2 = vol de creuer.
10	Identificador de trucada (callsign) de l'avió.
11	Data d'inici del segment en format YYMMDD.

12	Data del final del segment en format YYMMDD.
13	Latitud del punt inicial del segment en minuts decimals (graus decimals transformats en format de minuts).
14	Longitud del punt inicial del segment en minuts decimals.
15	Latitud del punt final del segment en minuts decimals.
16	Longitud del punt final del segment en minuts decimals.
17	Número d'identificador de vol.
18	Seqüència, comença a 1 i va incrementant per cada segment d'un avió. Al començar un segment d'un vol diferent, es reinicia altre cop a 1.
19	Distància del segment expressada en NM.
20	Segment parity/colour (No utilitzat en aquest projecte).

2.1.2.2. T5

Dins de l'entorn del NEST es poden fer simulacions amb escenaris diferents de trànsit aeri gràcies als arxius So6. Aquesta eina però també permet coordinar un escenari de trànsit concret amb una estructura de l'espai aeri determinada (ja sigui real com personalitzada). Gràcies a aquest fet, el NEST permet fer estudis de capacitat dels sectors de l'espai aeri europeu. Per fer-ho el programa demana un arxiu d'entrada d'informació de vol (.so6) i uns arxius d'entrada d'informació de la sectorització de l'espai aeri explicats més endavant ([veure 2.2. Format dels arxius de l'espai aeri](#)).

El resultat és un altre arxiu amb un format en fitxer de text que indica quins vols entren a cada sector. A aquest format se l'anomena T5 (.t5).

Com s'ha pogut observar, aquest format així com la opció de l'estudi de capacitat dels sectors que té el NEST és precisament el que es busca com a objectiu d'aquest treball (estudi de les entrades que té un sector). És per això que el primer objectiu d'aquest projecte serà la creació d'un programa informàtic que permeti, a través d'uns fitxers d'entrada de vols (So6) i una sectorització específica d'espai aeri, aconseguir treure un fitxer amb format T5 ([Taula 2.2](#)) per després poder fer un estudi de les entrades dels sectors. Realitzar aquest codi amb la funcionalitat del NEST és interessant degut a que aquest últim no és útil per fer processos amb moltes simulacions diferents. Un altre motiu per crear aquesta eina és el llenguatge de programació (com s'ha indicat abans, c++) ja que d'aquesta manera es pot integrar la funcionalitat d'aquest programa en d'altres projectes com el Dynamo, un programa desenvolupat pel grup de recerca Icarus i que permet optimitzar trajectòries de vol. A més, al tenir l'eina del NEST, es poden fer comprovacions per certificar la validesa del programa desenvolupat.

És per tot això que el format T5 és l'ídoni per fer l'estudi de les entrades dins un sector ATS.

A continuació, a la figura ([Fig. 2.2](#)) es pot veure un exemple de text en format T5 on cada línia conté la informació d'un vol que ha entrat a un sector determinat.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16883	LQSB	2197702.791411	2198377	245.000000	4.000000	23.503334	90.142200	\$amqx_DBK	\$amqx_DBK	66.6389	674.209
16964	LQSB	2182545.461068	2183300.537904	230.000000	175.296125	53.386000	12.871500	ZAG_MIRJA	\$amtD_SPL	51.4885	755.077
17262	LQSB	2204806.486014	2205400.493804	245.000000	62.522849	12.452444	62.947700	\$amEI_DBK	\$amEI_DBK	50.4953	594.008
17546	LQSB	2202699.898361	2202784.662148	245.000000	206.642500	14.200000	21.871500	MIRJA_SPL	MIRJA_SPL	7.6715	84.7638
18151	LQSB	2202533.576397	2204697.097729	240.000000	240.000000	21.281700	105.638700	VAL_SAR	SAR_PUL	150.234	2163.52
19454	LQSB	2213785.364431	2215008.500000	240.000000	245.000000	14.792400	48.395400	\$aokT_SAR	SAR_SPL	88.3458	1223.14

Fig. 2.2 Exemple d'arxiu T5 per a un sector creuat per 6 vols

Igual que amb el format So6, en el T5 els camps estan tots separats per un espai. La taula ([Taula 2.2](#)) explica el significat de cada columna d'aquest format de text:

Taula 2.2 Descripció dels camps del fitxer T5

#	Explicació
1	Número identificador del vol (ID).
2	Nom del sector.
3	Data i hora d'entrada al sector. Aquesta xifra està representada en segons començant a contar el dia 01/01/1970 a les 00:00 UTC (Universal Time Coordinated). A això se l'anomena Unix Time o Unix Epoch Time.
4	Data i hora de sortida al sector en segons des de l'Unix Time.
5	FL d'entrada al sector.
6	FL de sortida del sector.
7	Distància d'entrada al sector des del principi del segment en NM.
8	Distància de sortida del sector des del principi del segment en NM.
9	Nom del segment d'entrada al sector.
10	Nom del segment de sortida del sector.
11	Distància total recorreguda per aquest vol en aquest sector en NM.
12	Temps total transcorregut per aquest vol en aquest sector en segons.

2.2. Format dels arxius de l'espai aeri

Un cop s'ha explicat el format dels fitxers que proporcionaran les dades dels vols que es volen estudiar (.so6) i el format dels fitxers de vol que s'han d'aconseguir treure per fer l'estudi del nostre projecte (.t5), es pot passar a explicar el format dels fitxers que indiquen com està format l'espai aeri. Tant en el NEST com en aquest projecte, aquests fitxers seran necessaris per saber no només les coordenades i altituds dels sectors que conformen el volum a estudiar sinó que també permetran saber la seva forma i els seus horaris d'obertura.

Cal indicar que dels 5 tipus d'arxius que s'explicaran a continuació, els dos primers poden tenir dos formats diferents: el format SAAM (System for Traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level) i el format GASEL (Generic ATFM Simulator Engine and Library). Aquests dos formats estan pensats per fer-se servir en programes diferents però al finalitzar la seva lectura, la

informació que donen serà la mateixa en el nostre cas. Per tant, tot i ser indiferent la seva elecció, en aquest projecte s'ha utilitzat el format SAAM.

En el cas dels 3 arxius restants, el format és el mateix tant per arxius SAAM com GASEL.

2.2.1. Airblocks

El format Airblocks (.are) és el format d'espai aeri més elemental de tots. Aquest consisteix en punts de coordenades que formen un polígon anomenat Airblock. Tots els formats posteriors no tenen coordenades en els seus arxius i les seves formes es basaran única i exclusivament en la forma dels Airblocks. En la figura [\(Fig. 2.3\)](#) es pot veure un exemple del format d'un Airblock on la primera línia conté la informació relativa a l'Airblock i les altres línies contenen les respectives coordenades que formen els punts que engloben el polígon.

```
14 2799 925 0 0 660 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 LJ
2799 925
2792 932
2797 943
2785.91 954.62
2780 942
2774 947
2781 957
2784 964
2784 975
2784 977
2790 974
2794 982
2790 992
2799 925
```

Fig. 2.3 Exemple d'arxiu ARE per a un Airblock amb 13 punts

A la següent taula [\(Taula 2.3\)](#) es mostra l'explicació de cada valor tant el de la línia que defineix l'Airblock com les restants:

Taula 2.3 Descripció dels camps del fitxer ARE

#	Explicació
Encapçalament de l'Airblock (Línia d'identificació de l'Airblock)	
1	Nombre de punts de l'Airblock. Aquest número determina quantes línies hi ha al cos després de l'encapçalament fins que no es defineixi un altre Airblock.

	El nombre de punts real, però, serà aquest nombre menys 1 ja que el cos del polígon d'un Airblock ha d'estar tancat (les coordenades de l'últim punt han de ser les mateixes que les del primer).
2	Latitud en minuts decimals de la localització de l'etiqueta o punt de referència de l'Airblock (no utilitzat en aquest projecte).
3	Longitud en minuts decimals de la localització de l'etiqueta o punt de referència de l'Airblock (no utilitzat en aquest projecte).
4	Vols (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
5	FL inferior. Aquest valor, tot i ser de gran importància a l'hora de definir l'espai aeri, en els arxius .are generalment és 0 degut a que el valor de l'altitud el donarà el format de l'apartat següent (veure 2.2.2. Sectors). En cas de no ser-ho però, el valor que predomina sempre és el valor del format de Sectors.
6	FL superior. Amb aquest valor passa el mateix que amb el valor #5.
7	Superfície (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
8	Número de sector (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
9	Temps de vol (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
10	Densitat de trànsit (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
11	Contingut de l'etiqueta (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
12	Codi de l'etiqueta (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
13	Valor 1 (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
14	Valor 2 (generalment 0) (no utilitzat en aquest projecte).
15	Nom de l'Airblock. Aquest pot contenir fins a un màxim de 24 caràcters (no cal que siguin només lletres).
Cos de l'Airblock (Línies identificadores dels punts de l'Airblock. Recordar que hi ha tantes línies de punts com el valor #1 de l'encapçalament de l'Airblock).	
1	Latitud del punt en minuts decimals.
2	Longitud del punt en minuts decimals.

2.2.2. Sectors

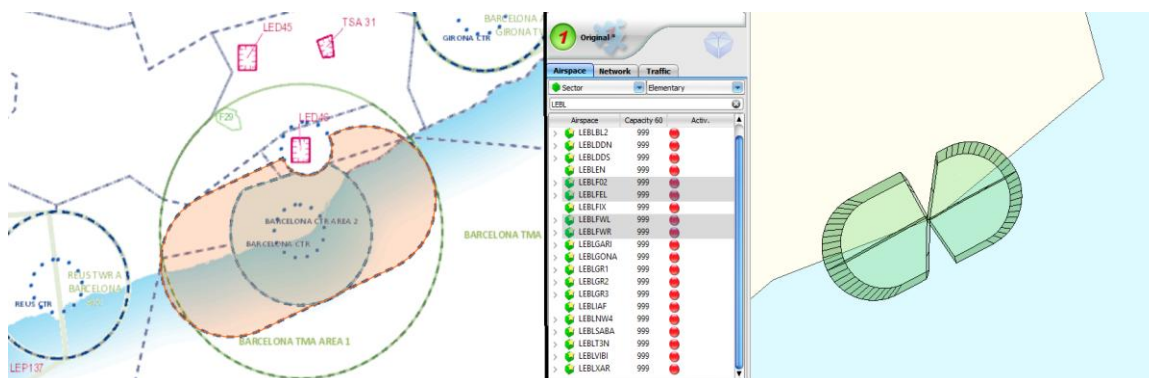
El format Sectors (.sls) és el següent format d'arxius de l'espai aeri i està conformat per la unió d'un o varis Airblocks a la mateixa o diferents altituds. La seva forma per tant pot ser més complexa ja que serà un polígon que pot tenir les seves bases (tant superior com inferior) a diferents altituds en tota la seva superfície tal com es veu a la figura ([Fig. 2.4](#)).



Fig. 2.4 Exemple de sector format per 3 Airblocks amb diferents altituds

Pel que fa els tipus d'espais aeris, aquest és el més important ja que és el primer nivell que comença a dibuixar la forma dels espais aeris controlats, ja siguin ATZ, CTR o simplement una part d'una FIR.

Per poder mostrar un exemple d'això tenim la figura (Fig. 2.5) en la que per una banda, a l'esquerra, hi ha un mapa de navegació proporcionat per ENAIRE (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, antiga AENA) a través del seu portal INSIGNIA [5] que mostra el CTR de l'aeroport de Barcelona - El Prat i per altra banda, a la dreta, es poden veure els sectors "LEBLF02", "LEBLFEL", "LEBLFWL" i "LEBLFWR" mostrats amb el programa NEST. Com s'observa, la unió dels 4 sectors i el CTR són pràcticament el mateix i per tant, com s'ha explicat abans, són equivalents.



2	Signe de volum. Sempre és “+” i indica que l’Airblock s’ha d’afegir al volum del sector.
3	Nom de l’Airblock. Ha de coincidir amb el nom exacte d’un dels Airblocks de l’arxiu ARE. Pot donar-se el cas en que un Airblock formi part de 2 sectors diferents sempre i quan no es solapin en altitud.
4	FL inferior. Altitud inferior de l’Airblock que pertany dins el sector. Aquesta sobreesciu en qualsevol cas al FL inferior de l’Airblock al fitxer ARE.
5	FL Superior. Altitud superior de l’Airblock que pertany dins el sector. Aquesta sobreesciu en qualsevol cas al FL superior de l’Airblock al fitxer ARE.

2.2.3. Collapsed Sectors

El format Collapsed Sectors (.spc) és la unió de diferents sectors en un de més gran formant un entramat més complex.

Un Collapsed Sector pot estar format per sectors però també pot contenir altres Collapsed Sectors més petits (que a la vegada contenen altres sectors i poden contenir altres Collapsed Sectors i així successivament).

En resum, la unió de tots aquests sectors formen el bloc d’espai aeri més gran i complex de tots els formats d’espai aeri.

A la figura ([Fig. 2.7](#)) es pot veure un exemple del format SPC on aquest cop els camps estan separats per un “;” enlloc d’un espai.

```
#;AIRSPACE;2;383;20140206;20140305;4082;EAR_P
A;BENELUX;EB/EH;AREA;2;_
S;EB;NAS
S;EH;NAS
A;BG;GREENLAND (DENMARK);NAS;1;_
S;BGGLFIR;FIR
A;BI;ICELAND;NAS;3;_
S;BIFAROER;FIR
S;BIRD;FIR
S;ENJA;FIR
A;BICC;ICELAND AUAG;AUAG;6;_
S;BIRDCTA;AUA
S;BIRDICTA;AUA
S;BIRDTMA;AUA
S;BIRDTCA;AUA
S;EKGCTR;AUA
S;ENJACTR;AUA
```

Fig. 2.7 Exemple d’arxiu SPC de 4 Collapsed Sectors diferents

En aquest format la primera fila de tot el fitxer és la que identifica l'arxiu, les files que comencen per una "A" són els Collapsed Sectors i les files que comencen per una "S" són els sectors (o Collapsed Sectors) que s'inclouen al Collapsed Sector indicat.

Durant tot l'arxiu, els Collapsed Sectors que es van creant estan ordenats alfabèticament, això vol dir que es pot donar el cas que un Collapsed Sector inclogui un altre Collapsed Sector que ja ha estat definit en aquest arxiu o que encara està per definir en aquest fitxer.

A la següent taula ([Taula 2.5](#)) es mostra l'explicació de cada valor de l'arxiu, tant la primera línia com la que defineix un Collapsed Sector i la que afegeix els sectors.

Taula 2.5 Descripció dels camps del fitxer SPC

#	Explicació
Primera línia (Línia d'identificació del fitxer)	
1	Caràcter "#".
2	Tipus d'arxiu. En aquest cas "AIRSPACE".
3	Versió (no utilitzat en aquest projecte).
4	Nombre del cicle AIRAC (Aeronautical Information Regulation And Control).
5	Data d'inici del cicle AIRAC en format YYYYMMDD.
6	Data de fi del cicle AIRAC en format YYYYMMDD. El cicle AIRAC sempre dura 28 dies, per tant aquests són els dies en que els Collapsed Sectors d'aquest fitxer seran efectius.
7	Número de registre (no utilitzat en aquest projecte).
8	Font (no utilitzat en aquest projecte).
Encapçalament del Collapsed Sector (Línia d'identificació d'un nou Collapsed Sector)	
1	Caràcter "A".
2	Nom del Collapsed Sector.
3	Descripció (no utilitzat en aquest projecte).
4	Tipus d'espai aeri.
5	Nombre de sectors del Collapsed Sector. Aquest número determina quantes línies hi ha al cos després de l'encapçalament fins que no es defineixi un altre Collapsed Sector.
6	Categoria de l'espai aeri (no utilitzat en aquest projecte).
Cos del Collapsed Sector (Línies identificadores dels sectors a afegir. Recordar que hi ha tantes línies com el valor #5 de l'encapçalament del Collapsed Sector.)	
1	Caràcter "S".
2	Nom del subespai aeri. Ha de coincidir amb el nom exacte d'un dels Sectors de l'arxiu SLS o un dels Collapsed Sectors de l'arxiu SPC.
3	Tipus de subespai aeri.

2.2.4. Configurations

El format Configurations (.cfg) està creat específicament per millorar l'organització de l'espai aeri. En funció del trànsit, les condicions meteorològiques o altres factors, en una zona concreta pot ser necessari canviar la forma dels sectors controlats perquè aquests s'adeqüin millor a les necessitats dels controladors o de les infraestructures aeronàutiques. Aquí és on entren en joc les Configurations, que no són res més que un altra agrupació de sectors i de Collapsed Sectors ordenats de manera que es puguin canviar i fer servir en funció de l'exigència del moment. Això vol dir que una Configuration pot tenir el mateix nom de zona (normalment corresponent al ACC implicada com per exemple LEBLTMA per l'ACC de Barcelona) però diferent nom de configuració (LEBLTMA CONF1 o LEBLTMA CONF2 per exemple). Això és així ja que cada configuració conté sectors suficients com per agrupar tot l'espai aeri de l'ACC i per tant només pot estar oberta una sola Configuration per zona de control a la vegada. Aquesta particularitat també implica que diferents configuracions per un mateix ACC poden contenir en part els mateixos sectors inclosos en altres configuracions però organitzades de tal manera que no es poden solapar.

En resum es pot dir que les Configurations són agrupacions de tots els sectors d'un ACC agrupats de manera diferent per tal de tenir-ne només una oberta i poder-la canviar en funció de les necessitats del moment (poder canviar la forma de l'espai aeri controlat en funció de les exigències del moment).

A la figura [\(Fig. 2.8\)](#) es pot veure un exemple del format CFG on, igual que als Collapsed Sectors, cada camp està separat per un “;”.

```
#;CONFIGURATION;1;383;20140206;20140305;24398;EAR_P
BIRDCTA;CONF1;BIRDES
BIRDCTA;CONF1;BIRDNO
BIRDCTA;CONF1;BIRDSS
BIRDCTA;CONF1;BIRDTVGTIA
BIRDCTA;CONF1;BIRDWE
BIRDDICTA;CNF1;BIRDFIS
BIRDTOCA;CONF1;BIRDEST
BIRDTOCA;CONF1;BIRDTVGTIAT
DAAACTA;CONF1;DAAASC
DAAACTA;CONF1;DAAASE
DAAACTA;CONF1;DAAASS
DAAACTA;CONF1;DAAASW
DAAACTA;CONF1;DAAATC
DAAACTA;CONF1;DAAATNE
DAAACTA;CONF1;DAAATORAN
DAAATCTA;CNF1;DAAATNEX
DTTCCTA;CONF2;DTTCNS
DTTCCTA;CONF2;DTTCSS
```

Fig. 2.8 Exemple d'arxiu CFG per diferents ACC

En el format CFG, la primera fila del fitxer torna a ser la que l'identifica. Totes les files següents són per afegir un sector o Collapsed Sector a una

configuració. Si el nom de l'ACC i el nom de la configuració són els mateixos que la fila anterior, significa que el sector en qüestió s'afegeix a la Configuration. En cas de que el nom de la configuració sigui diferent (per molt que pertanyi a la mateixa zona de control) o si es tracta d'un ACC diferent, es tractarà d'una Configuration diferent.

A la taula següent ([Taula 2.6](#)) es mostra l'explicació de cada valor de l'arxiu.

Taula 2.6 Descripció dels camps del fitxer CFG

#	Explicació
Primera línia (Línia d'identificació del fitxer)	
1	Caràcter "#".
2	Tipus d'arxiu. En aquest cas "CONFIGURATION".
3	Versió (no utilitzat en aquest projecte).
4	Nombre del cicle AIRAC.
5	Data d'inici del cicle AIRAC en format YYYYMMDD.
6	Data de fi del cicle AIRAC en format YYYYMMDD. El cicle AIRAC sempre dura 28 dies, per tant aquests són els dies en que els Collapsed Sectors d'aquest fitxer seran efectius.
7	Número de registre (no utilitzat en aquest projecte).
8	Font (no utilitzat en aquest projecte).
Cos de la Configuration (Línies identificadores dels sectors o Collapsed Sectors a afegir)	
1	Nom de la zona de control, normalment equival al ACC.
2	Nom de la configuració. Acostuma a tenir un nom relacionat amb el tema com per exemple CONF.
3	Nom del subespai aeri a afegir. Ha de coincidir amb el nom exacte d'un dels Sectors de l'arxiu SLS o un dels Collapsed Sectors de l'arxiu SPC.

2.2.5. Opening Scheme

El format Opening Scheme (.cos) és l'últim dels formats dels arxius d'espai aeri. Aquest consisteix simplement en dir quina Configuration està oberta en cada moment dient l'hora de començament i de finalització amb una precisió de minuts.

L'exemple es pot observar a la figura ([Fig. 2.9](#)) on es pot veure que el format COS torna a separar els camps en " ; ".

```
#;OPENING_SCHEME;1;383;20140206;20140305;16556;EAR_P
06/02/2014;BIRDCTA;00:00;23:59;CONF1;E
06/02/2014;BIRDTCTA;00:00;23:59;CNF1;E
06/02/2014;BIRDTCTA;00:00;23:59;CONF1;E
06/02/2014;DAAACTA;00:00;23:59;CONF1;E
06/02/2014;DAAATCTA;00:00;23:59;CNF1;E
06/02/2014;DTTCCTA;00:00;23:59;CONF2;E
06/02/2014;EBBUCTA;00:00;05:39;CE1W1;E
06/02/2014;EBBUCTA;05:40;06:19;CE2W2H;E
06/02/2014;EBBUCTA;06:20;07:59;C3HW3;E
06/02/2014;EBBUCTA;08:00;10:19;C3EW3;E
06/02/2014;EBBUCTA;10:20;15:29;CE2W2H;E
06/02/2014;EBBUCTA;15:30;17:59;C3HW3;E
06/02/2014;EBBUCTA;18:00;19:59;C3EW2H;E
06/02/2014;EBBUCTA;20:00;21:59;CE2W1;E
06/02/2014;EBBUCTA;22:00;23:59;CE1W1;E
06/02/2014;EDDDCTA;00:00;23:59;CONF1;E
```

Fig. 2.9 Exemple d'arxiu COS del 6 de febrer del 2014

En el format COS la primera fila també identifica l'arxiu i la resta de files consisteixen en una configuració per unes hores determinades. Les configuracions estan ordenades alfabèticament i per tant totes les configuracions d'un mateix ACC estaran juntes en el text. Dit això, però, aquestes estaran ordenades en funció de la seva hora d'obertura i tancament i per tant seran consecutives ja que recordem que un ACC no pot tenir més d'una configuració oberta. Això també implicarà que no podran haver 2 sectors o Collapsed Sectors que es solapin actius al mateix moment. Aquest fet però no implica que una mateixa configuració pot obrir-se més d'una vegada al dia però en intervals horaris diferents. Per últim comentar que l'Opening Scheme és un arxiu que dona informació durant tot un cicle AIRAC i per tant ha de donar els sectors oberts de 28 dies. Aquests per facilitar la lectura de l'arxiu, estaran ordenats per data.

Finalment a la taula [\(Taula 2.7\)](#) es pot veure l'explicació de cada camp.

Taula 2.7 Descripció dels camps del fitxer COS

#	Explicació
Primera línia (Línia d'identificació del fitxer)	
1	Caràcter "#".
2	Tipus d'arxiu. En aquest cas "OPENING_SCHEME".
3	Versió (no utilitzat en aquest projecte).
4	Nombre del cicle AIRAC.
5	Data d'inici del cicle AIRAC en format YYYYMMDD.
6	Data de fi del cicle AIRAC en format YYYYMMDD. El cicle AIRAC sempre dura 28 dies, per tant aquests són els dies en que l'Opening Scheme d'aquest fitxer serà efectiu.

7	Número de registre (no utilitzat en aquest projecte).
8	Font (no utilitzat en aquest projecte).
Cos de la Configuration (Línies identificadores de les Configurations obertes)	
1	Data efectiva en format DD/MM/YYYY.
2	Nom de la zona de control, normalment equival al ACC.
3	Hora d'obertura de la configuració en format HH:MM.
4	Hora de tancament de la configuració en format HH:MM. Si aquesta no és les 23:59, normalment coincidirà amb l'hora d'obertura de la configuració següent menys 1 minut.
5	Nom de la configuració.
6	Origen de la informació (no utilitzat en aquest projecte).

CAPÍTOL 3. PROGRAMA INFORMÀTIC

Un cop s'ha vist tot l'apartat teòric així com l'explicació de tots els formats dels arxius que s'utilitzaran en aquest treball, és el moment de comentar el programa desenvolupat. Tal i com s'ha explicat abans a l'apartat T5 ([veure 2.1.2.2. T5](#)), el primer pas per poder fer un estudi del còmput d'entrades d'un sector ATS seria el de crear un programa que, a partir de tots els arxius explicats anteriorment i un fitxer de vols So6, sigui capaç de crear un altre arxiu amb el format T5. Un cop s'hagi assolit això, l'únic que s'hauria de fer es recórrer el fitxer generat i anar contant els vols que passen per cada sector.

Per poder fer això, s'ha decidit dividir el treball en 2 programes informàtics diferents: el primer (So6_to_T5) que sigui capaç de generar el fitxer de vols T5 i el segon (Sector_Entry_Count) que s'encarregui de fer la feina de recórrer el resultat del programa anterior així com efectuar un estudi i mostra de resultats. S'ha decidit fer-ho d'aquesta manera ja que en una possible futura recerca pot ser convenient tenir un programa exclusiu que permeti importar un So6 per exportar un T5.

3.1. Programa So6_to_T5

Com s'ha exposat abans, l'objectiu d'aquest programa és llegir un fitxer de vols amb format So6 i 5 fitxers d'espai aeri amb formats ARE, SLS, SPC, CFG i COS i transformar-los en un altre arxiu amb format T5.

Per a fer-ho, s'ha decidit realitzar el codi en llenguatge C++ per comoditat ja que és un dels llenguatges de programació més ràpids i més utilitzats.

Pel que fa a l'entorn de programació, s'ha acordat fer servir el programa CLion de JetBrains [6] ja que permet treballar tant en sistema operatiu Windows com en sistema operatiu Linux.

3.1.1. Estructura

3.1.1.1. Classes

Les classes d'aquest programa s'han creat per poder recollir, guardar i passar la informació que ens proporcionen els fitxers de manera organitzada. Aquestes estan generades en ordre estructuralment ascendent.

Per una banda hi ha les classes relacionades amb el fitxer de vols So6 on es poden trobar les dues classes següents:

- Segment

Aquesta guarda la informació de cada línia del fitxer So6, les quals corresponen a un segment d'un vol.

- Flight

Aquesta conté la informació respectiva de cada vol (Callsign, origen i destí...) així com un vector de la classe Segment amb tots els segments de cada vol respectivament.

D'altra banda hi ha les classes relacionades amb els arxius de l'espai aeri:

- Point

La més elemental de totes. Consisteix simplement en guardar la posició d'un punt, es a dir la seva latitud i longitud (en graus decimals a diferencia del format que ens donen als arxius).

- Airblock

Guarda la informació del fitxer ARE, el nom de l'Airblock així com els punts que el representen en un vector de la classe Point. També en guarda la seva altitud (en FL) que tindrà quan aquest formi part d'un sector (es llegeixi el fitxer de sectors).

- Sector

Guarda la informació del fitxer SLS. Només conté el nom del sector i un vector amb tots els Airblocks que el generen.

- Collapsed

Guarda la informació del fitxer SPC. Aquesta esta formada pel nom del Collapsed Sector i 2 vectors diferents, un vector de sectors i un altre vector de la pròpia classe Collapsed ja que recordem que un Collapsed Sector pot contenir sectors i altres Collapsed Sectors.

També conté una variable anomenada "Upper". Degut a que una configuració pot estar formada per sectors que no formin part d'un Collapsed, en certs punts pot interessar saber quin és el sector més gran a nivell estructural d'un espai aeri. Aquesta variable guarda el nom d'aquest nivell estructural superior i consistirà en el nom del sector, en el cas que aquest no formi part de cap Collapsed Sector, o el nom del Collapsed en cas de que si n'hi formi.

- Configuration

Guarda la informació del fitxer CFG. Igual que a la classe Collapsed, es guarda en 2 vectors diferents els sectors i els Collapseds que formen la configuració així com el seu nom. Aquest identificatiu però estarà format pel nom de la configuració equivalent al ACC seguit del nom de la configuració respectiva (CONF) separats per una barra baixa "_".

- OpeningScheme

Guarda la informació del fitxer COS. Aquesta simplement conté l'identificador de la configuració (que haurà de ser igual a l'identificador de la classe Configuration) així com la data (dia, mes, any) i el temps (hora, minut) per poder comprovar la seva disponibilitat.

Posteriorment comentar que s'han creat unes classes per emmagatzemar la informació dels resultats de la conversió a T5 per poder escriure-la en un fitxer. Aquestes classes són les següents:

- T5

Conté la informació del vol que passa dins d'un sector, el punt inicial i de sortida, el temps en que hi entra i surt i la distància recorreguda.

- T5sector

Consisteix en un sector que conté un vector amb els segments d'un vol que el creua.

Finalment les últimes classes que queden per comentar són dues classes que ja estaven creades abans pel grup de recerca Icarus Research Group i que ha tingut l'amabilitat de deixar prestades per la realització d'aquest TFG. Aquestes consisteixen en una variació de la classe Airblock i contenen funcions per poder trobar el polígon en que es troba un punt determinat i fer càlculs d'interseccions dels segments dels vols a l'espai així com poder-los representar en el programa de mapeig Google Earth.

- Polygon

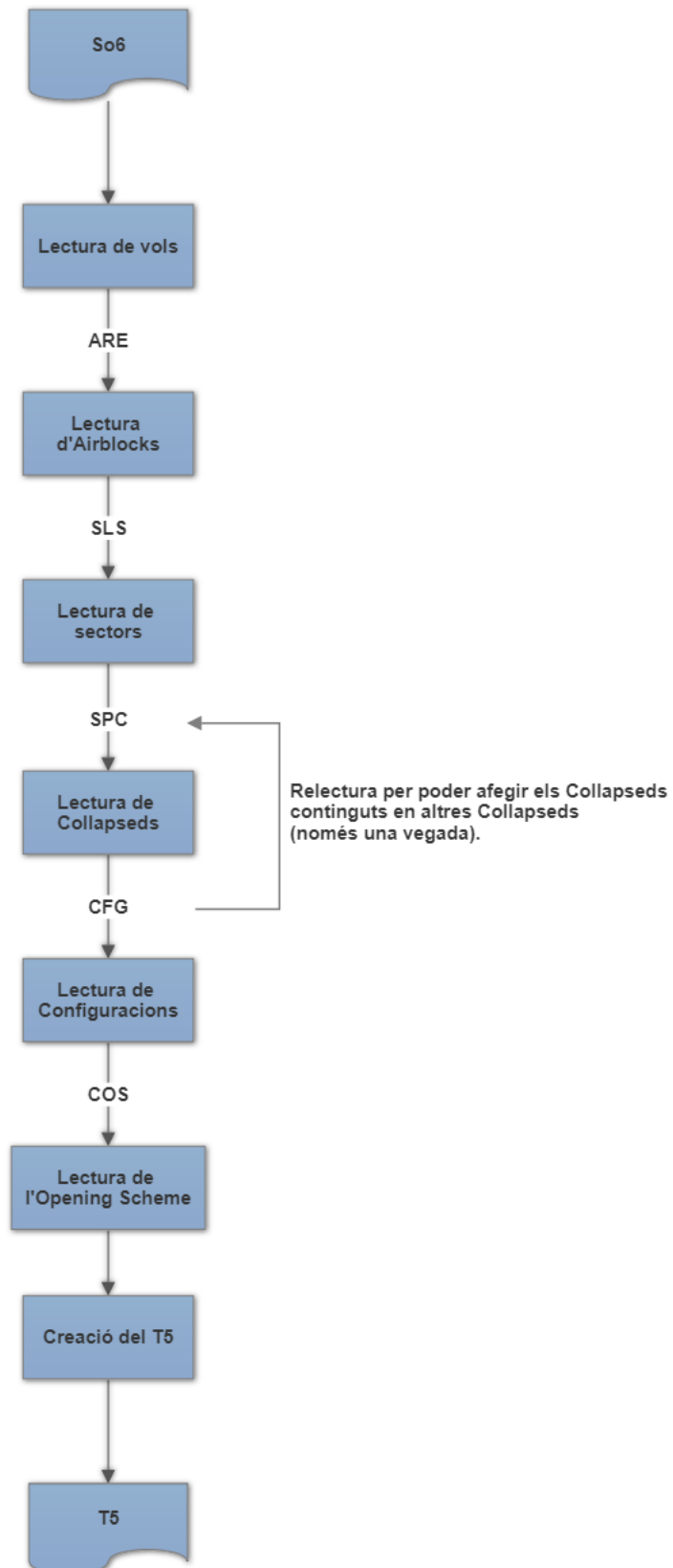
Conté el nom del polígon i un vector de punts que el defineixen. Aquests punts poden estar en format LLA (Latitude Longitude Altitude) o en format ECEF (Earth-Centered Earth-Fixed). En aquest cas s'ha adequat el programa perquè un polígon d'aquesta classe sigui equivalent a un Airblock d'espai aeri.

- Polygon_list

Conté un vector de la classe ploygon.

3.1.1.2. *Funcionament*

Per explicar el funcionament del programa en termes generals, s'han creat dos diagrames de blocs per entendre els passos que es donen en les línies de codi. El primer diagrama ([Fig. 3.1](#)) representa el cos principal del programa (main.cpp).

**Fig. 3.1** Esquema del cos del programa

En aquest cas, el programa es basa en anar llegint la informació dels fitxers per finalment crear el T5.

Cal fer un apunt a l'hora de comentar la lectura dels Collapsed Sectors i és que aquests, al poder contenir altres Collapseds, van fer sorgir un problema addicional. Es podia donar el cas que, metre el programa llegeix l'arxiu SPC, es generés un Collapsed el qual contingues un altre Collapsed que encara no hagués estat llegit (ja que al recórrer l'arxiu, aquests estan ordenats alfabèticament). Finalment aquest problema es va solucionar llegint el fitxer d'aquest tipus de sectors dues vegades: la primera per crear-los sense omplir-los i la segona per poder incloure els sectors que els formen.

El bloc de la funció de la creació del T5 és el més complex de tots i és per això que s'ha decidit crear un segon diagrama de blocs per explicar exclusivament el seu funcionament ([Fig. 3.2](#)). En aquest cas, l'entrada és tota la informació dels vols i l'espai aeri llegit fins aquell moment.

Tots els passos que s'exposaran a continuació es fan dins un bucle que els repeteix per a cada vol i dins de cada vol, per a cada segment.

El primer que fa és calcular el que s'ha anomenat "Available Airspace". Consisteix en detectar l'hora inicial del segment calculat i mirar a la classe OpeningScheme quines són les configuracions obertes en aquell moment (o el que és equivalent, quins són els sectors actius). Un cop fet això, es transformen els Airblocks de tots els sectors corresponents en variables de la classe Polygon per poder fer els càlculs d'interseccions. Seguidament es procedeix a calcular el sector en el qual es troba el punt inicial del segment. Tot i que la cerca d'interseccions dona on es troba el vol i el sector el qual està entrant, aquest càlcul és important en el cas que l'aeronau no creui cap sector durant aquest segment. Finalment es calculen les interseccions del segment en les zones de l'espai aeri per poder completar el T5.

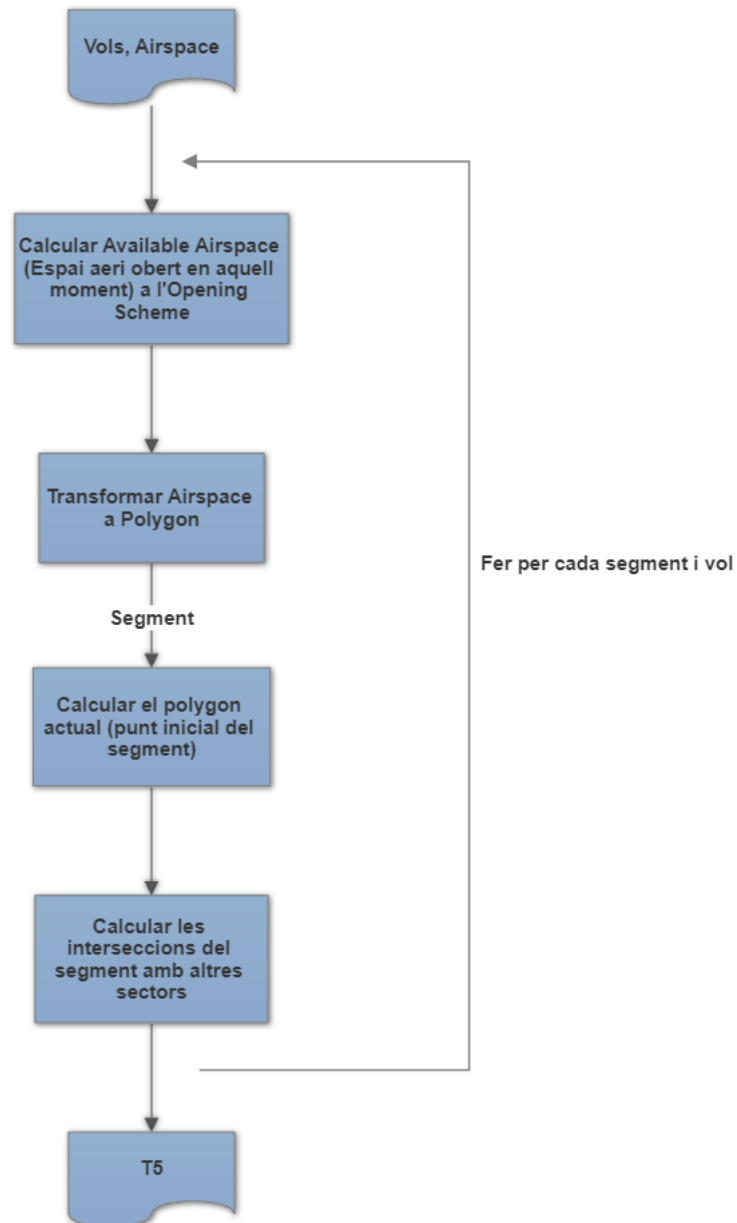


Fig. 3.2 Esquema de la funció de la creació del T5

Un cop explicat el funcionament del programa, es pot passar a explicar les suposicions que s'han tingut en compte en aquest projecte. Per tal de poder simplificar matemàticament els càlculs, s'han hagut de simplificar conceptes assumint una sèrie de coses:

- Per poder fer el càlcul d'interseccions, s'ha considerat un sistema de referència ECEF utilitzant l'estàndard WGS 84 (World Geodetic System 1984) que té els següents paràmetres:

Semieix major de la terra = 6.378.137 m

Excentricitat de la terra = 0.081819190842622

- A causa que no es tenia la velocitat de les aeronaus en cada punt del segment, no s'ha pogut calcular el temps exacte en que els avions canvien de sector. Per tant això ha portat a assumir que la configuració de l'espai aeri ("Available Airspace") no pot variar durant el transcurs de tot un segment d'un vol. En cas que aquesta es modifiqués, no es tindrà en compte fins que l'avió no comenci un altre segment.
- A causa que no es tenia l'altitud de les aeronaus en cada punt del segment, no s'ha pogut esbrinar el nivell de vol exacte de l'avió durant el seu transcurs. Per culpa d'això, ha estat impossible tenir en compte els canvis de sectors que es troben al mateix lloc però a una altitud diferent (en els ascensos o descensos de FL). És per això que a l'hora de calcular les trajectòries, s'ha assumit que els vols es donen de manera esglaonada tal i com es mostra a la figura [\(Fig. 3.3\)](#) i que tots els canvis en el nivell de vol es donen bruscament en l'impàs d'un segment a l'altre així com les seves possibles entrades a altres sectors superiors/inferiors.

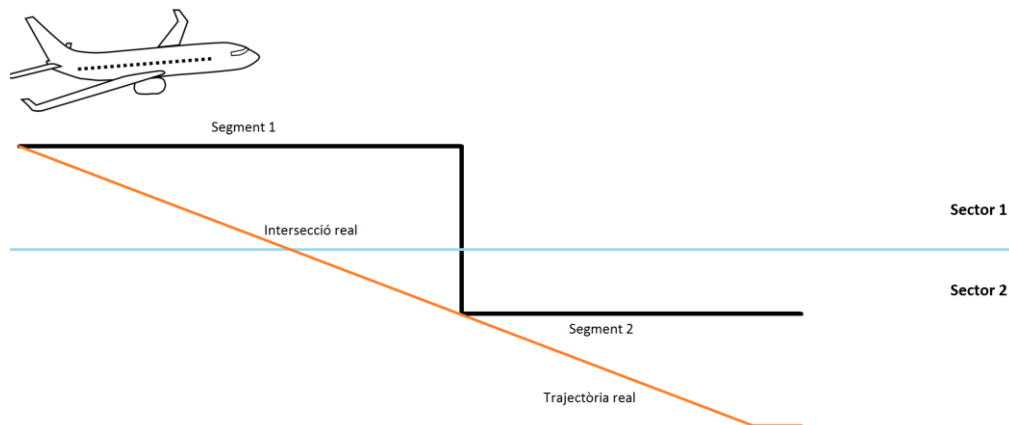


Fig. 3.3 Exemple de trajectòria assumida en aquest projecte

3.1.2. Exemples de validació

Per tal de comprovar el correcte funcionament del programa així com la verificació de les funcions externes (proporcionades per Icarus Research Group) utilitzades per fer el codi informàtic, s'han plantejat diferents exemples. Aquests seran comparats i validats amb el resultat que en doni el programa NEST.

El primer exemple tracta sobre la funció de la classe Polygon que permet esbrinar el sector en el que es troba un punt determinat. Per fer-ho s'han posat les coordenades d'un punt fàcilment reconeixible en un mapa com és el cas de la ciutat de Brest a França (48.384601° N, 4.486483° O) coneguda per la seva situació geogràfica [\(Fig. 3.4\)](#), a una altitud determinada com per exemple FL200.



Fig. 3.4 Localització de la ciutat de Brest a França

En la figura [\(Fig. 3.5\)](#) es pot veure els resultats donats al CLion on es mostra que l'Airblock on es troba el punt estudiat és el "004LF", que va de FL195 a FL255 i està dins el sector amb nom "LFRRID". Aquest a la vegada està dins el Collapsed "LFRRFBRT" i per tant, com té Collapsed Sector, el sector superior dominant ("upper_sec_coll") és aquest últim.

Finalment veiem que la configuració corresponent és "LFRRCTAN_C05NO".

```

▼ [0] = {polygon * | 0x16623930} 0x16623930
  ► polygon_name = {std::__cxx11::string} "004LF"
  ► polygonLLA = {std::vector<LLApoint, std::allocator>}
  ► polygonECEF = {std::vector<ECEFpoint, std::allocator>}
  29 FLmax = {int} 255
  29 FLmin = {int} 195
  ► sector_name = {std::__cxx11::string} "LFRRID"
  ► collapsed_name = {std::__cxx11::string} "LFRRFBRT"
  ► configuration_name = {std::__cxx11::string} "LFRRCTAN_C05NO"
  ► upper_sec_coll = {std::__cxx11::string} "LFRRFBRT"

```

Fig. 3.5 Resultat de la prova 1 al CLion

Per poder comprovar que això és correcte s'ha fet servir l'eina Google Earth per representar l'Airblock "004LF" [\(Fig. 3.6\)](#).

De la mateixa manera s'ha contrastat el resultat amb el NEST. Aquest però només deixa representar sectors i per tant es pot veure tot el sector "LFRRID" on s'hi pot veure el nostre Airblock inclòs [\(Fig. 3.7\)](#).

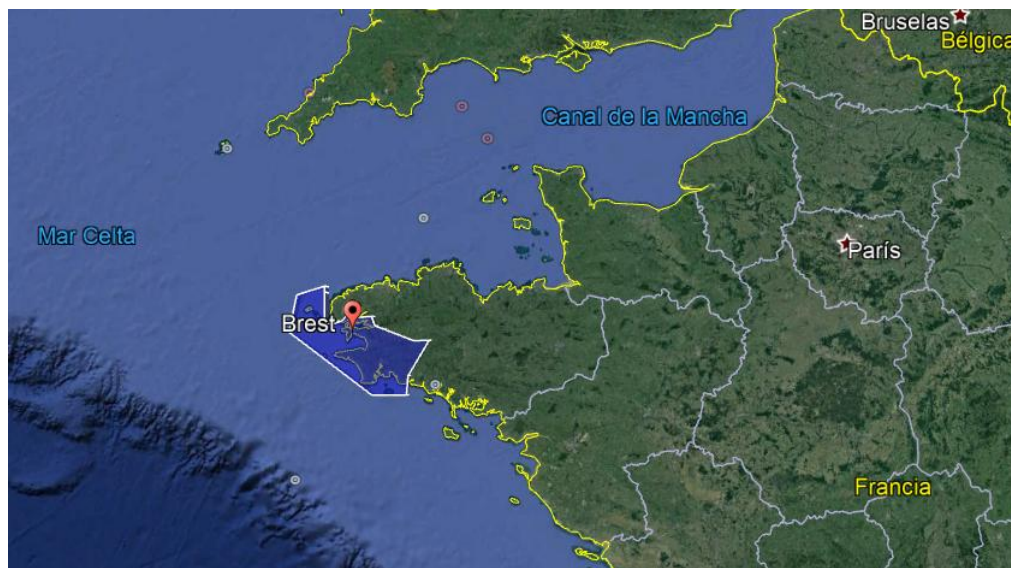


Fig. 3.6 Resultat de la prova 1 al Google Earth

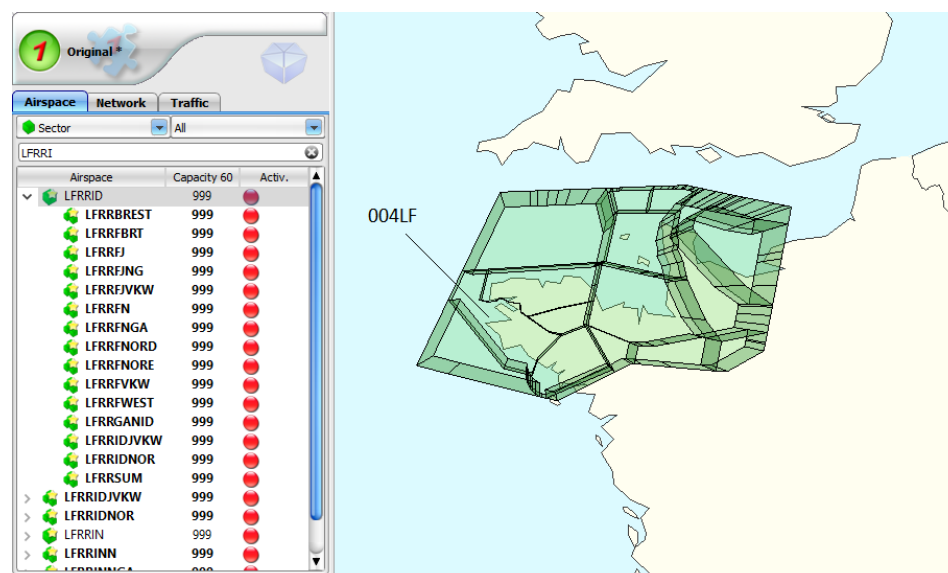


Fig. 3.7 Resultat de la prova 1 al NEST

El segon exemple servirà per comprovar el correcte funcionament del càlcul d'interseccions de la classe Polygon_list. Per fer-ho s'ha creat un fitxer So6 personalitzat que contindrà només un segment.

Aquest anirà per dos punts creuant l'espai aeri de l'aeroport de Barcelona a FL200 per les següents coordenades:

- 41° N, 1.3° E
- 41.4°N, 2.3° E

El contingut del segment en qüestió és:

VHHH_!AOHG VHHH LFPB GLEX 133700 133750 200 200 0 N68889 180301
 180301 2460.000000 78.000000 2484.000000 138.000000 215810818 1
 51.127400 0

A la figura (Fig. 3.8) es pot veure el resultat que dona el CLion dels sectors que creua aquest segment a FL200.

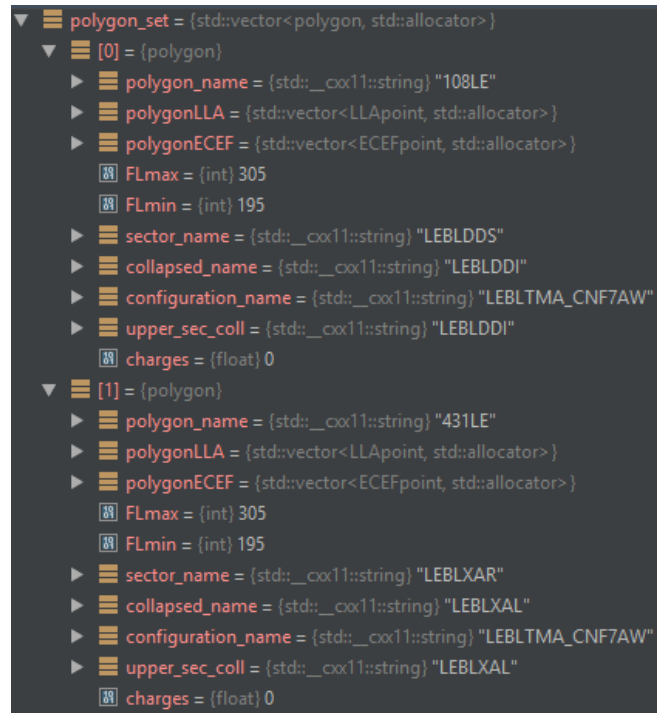


Fig. 3.8 Resultats de la prova 2 al CLion

Aquests resultats mostren com el vol imaginari creua 2 sectors diferents: el "LEBLDDS" per l'Airblock "108LE" dins el Collapsed "LEBLDDI" i el "LEBLXAR" per l'Airblock "431LE" dins el Collapsed "LEBLXAL".

Els mencionats Airblocks es poden veure a la figura (Fig. 3.9) en Google Earth.



Fig. 3.9 Resultats de la prova 2 al Google Earth

Després d'això s'ha extret el respectiu fitxer T5 del programa de la mateixa manera com s'ha fet al NEST. A la figura [\(Fig. 3.10\)](#) se'n poden veure el resultats i les diferències.

So6_to_T5													
215810818	LEBLDDI	1519911420	1519911470	200	200	0	0	VHHH_!AOHG	VHHH_!AOHG	51.1274	50		
215810818	LEBLXAL	1519911420	1519911470	200	200	0	0	VHHH_!AOHG	VHHH_!AOHG	51.1274	50		
NEST													
215810818	LEBLDDI	1519911420	1519911452.14439	200	200	0.0000	32.8692	VHHH_!AOHG	VHHH_!AOHG	32.8692	32.1444		
215810818	LEBLXAL	1519911452.14439	1519911470	200	200	32.8692	51.1274	VHHH_!AOHG	VHHH_!AOHG	18.2582	17.8556		

Fig. 3.10 Comparació de resultats dels T5 de la prova 2

Com es pot veure la primera cosa a comentar és que al resultat del T5 surt el Collapsed Sector enlloc del sector. Això és degut a que el T5 fa l'estudi del nivell superior del sector que pot ser un Sector pròpiament dit o un Collapsed sector com és aquest cas. Aquí tenim la resposta al per què era tan important la variable "Upper" explicada a la classe Collapsed [\(veure 3.1.1.1. Classes - Collapsed\)](#).

A causa de la imposició de la figura [\(Fig. 3.3\)](#) del tipus de trajectòria tinguda en compte, es pot veure com en el programa, al ser únicament un segment per tot el vol, dona els mateixos punts d'entrada i de sortida per als dos sectors al igual que el temps i la distància recorreguda. El T5 del NEST és més exacte en aquest aspecte indicant el punt exacte on es passa d'un sector a un altre.

Finalment l'última prova que s'ha realitzat és la comprovació de la lectura de l'espai aeri disponible en cada moment ("Avalible airspace"). Per fer-ho s'ha agafat una hora a l'atzar del primer dia efectiu del nostre arxiu Opening Scheme i s'ha representat en Google Earth. El resultat és la figura [\(Fig. 3.11\)](#). Cal recalcar que molts dels sectors aquí representats estan solapats.

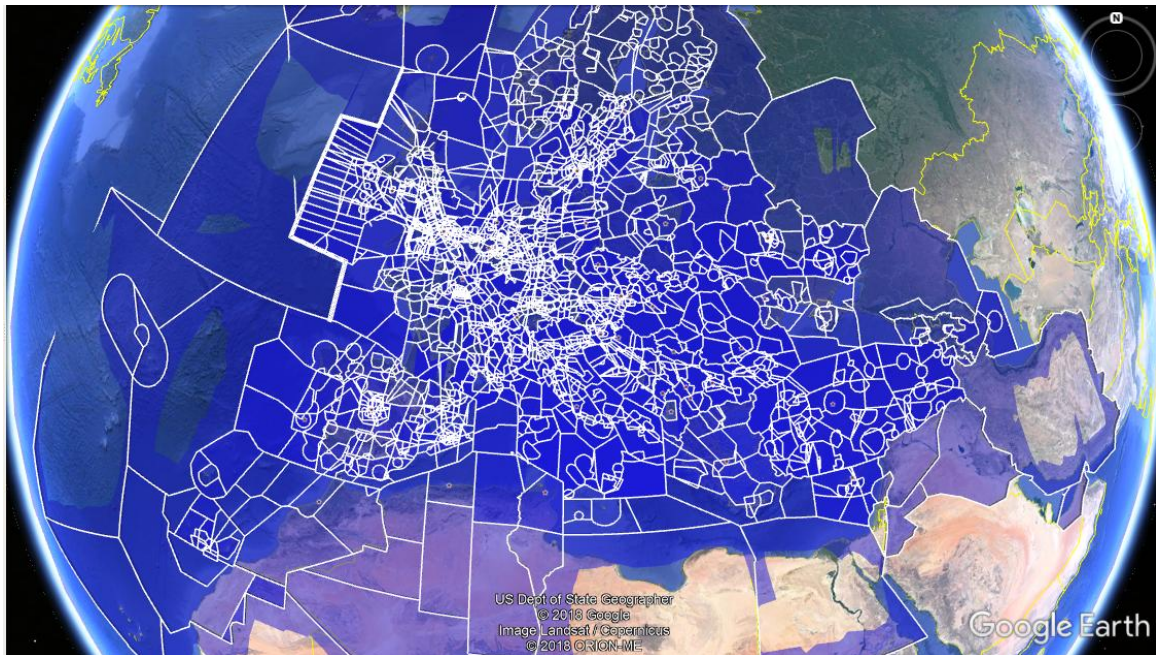


Fig. 3.11 Exemple de mapa amb tots els Airblocks oberts el dia 01/03/2018 a les 13:37 hores amb Google Earth

3.2. Programa Sector_Entry_Count

Un cop tenim creat el fitxer T5, l'objectiu d'aquest programa és poder rellegir-lo per calcular les entrades dels vols que té cada sector i treure els resultats de manera gràfica. Aquest, al ser més senzill, tindrà una estructura menys extensa explicada a continuació.

Comentar que ja que tota la informació necessària per aquest programa només és un fitxer de text i no dades directes del codi anterior, s'ha decidit fer servir el programa Matlab [7] per programar-lo ja que és el programari per excel·lència que s'ha fet servir en aquest Grau a l'hora de fer gràfiques. D'aquesta manera queda clar també que al ser 2 entorns de programació diferents, cada programa és individual i funciona per si sol. A més, al tenir com a input el T5, pot funcionar tant si les dades provenen del NEST com del codi anterior desenvolupat en aquest projecte.

3.2.1. Estructura

L'estructura d'aquest programa està separada en dues classes diferents prou evidents ja que el que es busca aquí és contar quants vols passen per cada sector.

3.2.1.1. *Classes*

- Sector

Conté simplement el nom del sector (recordem que és el de nivell superior per tant també pot ser un Collapsed però aquí simplement l'anomenarem Sector) i un vector amb els vols que el creuen. Al contar la llargada d'aquest vector, es contenen els avions que passen per ell i per tant aquesta és la dada que es farà servir per posteriorment fer l'estudi.

- Vol

Conté la informació d'un vol que entra a un sector, el seu número identificador, el temps d'entrada i sortia al sector des de l'Unix Time, la distància i el temps total recorreguts en la zona de control determinada. Com que una aeronau real pot passar per més d'un espai aeri durant el seu trajecte, es definirà el mateix avió com si fos un vol diferent per a cada sector que travessi.

3.2.1.2. *Funcionament*

El programa `Sector_Entry_Count` simplement llegeix el fitxer T5, col·loca tots els vols en els seus sectors corresponents i després els ordena per ordre descendent de manera que queden primer els sectors amb més trànsit aeri. Seguidament fa els càlculs pertinents per poder mostrar aquests resultats en gràfiques.

CAPÍTOL 4. ESTUDI DE L'ESPAI AERI A FRANÇA

Finalment, amb el programa informàtic ja construït, només queda implementar-lo per fer un estudi de còmput d'entrades dins un sector ATS.

4.1. Bases de l'estudi

Tal i com està plantejada l'estructura del programa, que ha de fer els càlculs d'intersecció per a cada segment de cada vol per a tots els espais aeris oberts en aquell moment, i degut a la gran quantitat de dades a llegir (més de 27.000 vols per dia que creuen sobre els 7.604 Airblocks per tota Europa), el temps que necessita el programa per fer les simulacions és molt elevat (del rang de desenes d'hores). A conseqüència d'això, s'ha buscat una manera d'intentar reduir el nombre de dades a manejar. És per a aquest motiu que s'ha decidit que l'estudi es faria pels vols d'unes hores determinades a una regió en concret.

Com l'espai aeri que tenim constància en els nostres arxius és només de la zona europea, el país indicat per estudiar ha de ser de la zona ECAC (European Civil Aviation Conference) o conferència europea d'aviació civil. Això i que tingui un espai aeri suficientment concorregut per poder treure conclusions. Dit això un dels estats que encaixa amb aquesta descripció és França, que ha estat finalment l'escollit.

Per delimitar l'espai d'anàlisi al programa, el que s'ha fet ha estat modificar l'arxiu de l'Opening Scheme de tal manera que només hi quedessin escrits els sectors que comencessin amb "LF" (codi ICAO de la regió francesa). D'aquesta manera es pot "enganyar" al programa per fer-li pensar que només l'espai aeri francès es troba obert.

Pel que fa a la zona horària s'ha escollit un interval de dues hores, en concret de 7:00 a 9:00 UTC del matí ja que acostuma a ser una hora força concorreguda de vols.

Finalment s'ha agafat un dia aleatori per realitzar l'estudi, s'ha intentat buscar un dia el més normal possible (sense caps de setmana, ponts o vacances pel mig). A tot això s'ha triat el dia laborable dilluns 5 de març de 2018.

Amb aquests filtres s'ha creat un nou fitxer de vols So6 amb el NEST cosa que ha fet rebaixar el nombre de vols a 3.304.

Finalment i ja que el DDR2 ens ho permet, es farà la mateixa simulació (mateix dia i mateixes condicions) per un fitxer M1 i per un fitxer M3 per així poder comparar la diferència en la descongestió dels vols planejats als vols efectuats realment.

4.2. Resultats

Per poder sintetitzar aquest apartat, s'ha optat per mostrar els 11 sectors més transitats enlloc d'ensenyar-los tots un per un (ja que són un total de 104

sectors). Se'n mostren 11 perquè en un dels casos el sector del lloc 10 i del lloc 11 tenien les mateixes entrades. D'aquesta manera i pel format M1 (pla de vol final de les companyies aèries) el resultat es pot veure a la figura [\(Fig. 4.1\)](#):

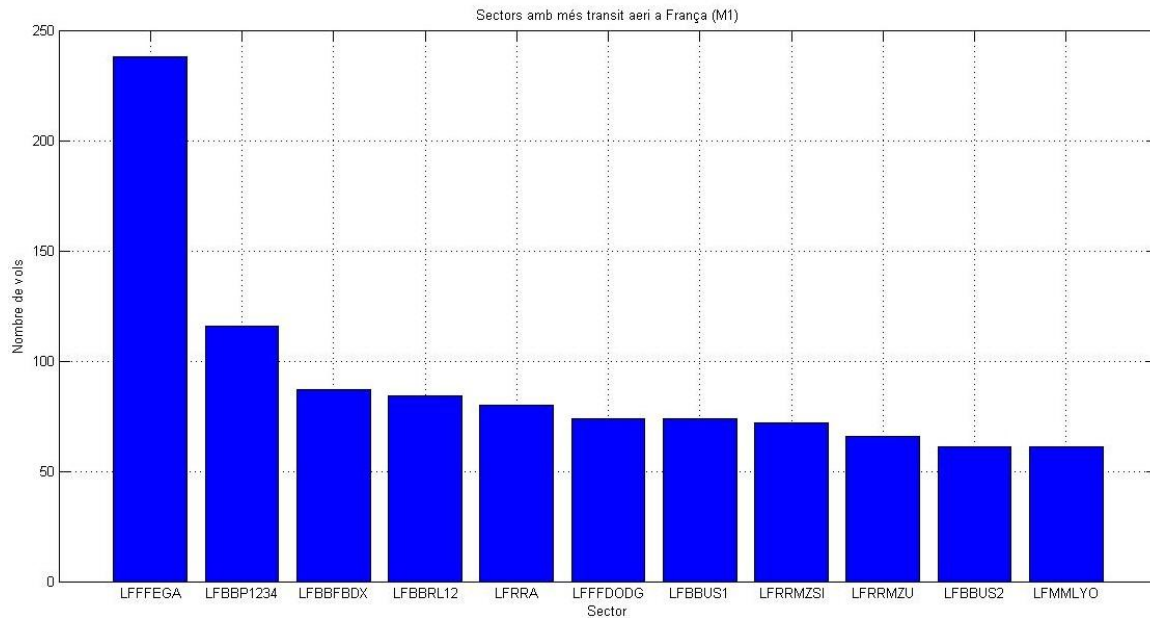


Fig. 4.1 Sectors amb més entrades a l'espai aeri francès (M1)

A la següent taula [\(Taula 4.1\)](#) es mostren els resultats amb més detall:

Taula 4.1 Resultat en nombre de vols (M1)

Sector	Nombre de vols	Mitjana de vols per hora
LFFFEGA	238	119 vols/h
LFBBP1234	116	58 vols/h
LFBBFBDX	87	43.5 vols/h
LFBBRL12	84	42 vols/h
LFRRRA	80	40 vols/h
LFFFDODG	74	37 vols/h
LFBBUS1	74	37 vols/h
LFRRMZSI	72	36 vols/h
LFRRMZU	66	33 vols/h
LFBBUS2	61	30.5 vols/h
LFMMLYO	61	30.5 vols/h

En aquesta es pot veure un sector que despunta amb 238 vols i els altres estan un nivell per sota.

Per veure millor quins sectors són els més transitats, s'han mostrat els 4 primers amb el NEST per poder tenir una referència visual i així extreure'n conclusions.



Fig. 4.2 Sector LFFFEGA



Fig. 4.3 Sector LFBBP1234



Fig. 4.4 Sector LFBBFBDX



Fig. 4.5 Sector LFB BRL12

El sector més transitat es pot veure a la figura [\(Fig. 4.2\)](#). Com s'observa, és el sector que controla la ciutat de París i per tant tots els seus aeroports (ja que el sector arriba fins al terra). No és d'estranyar doncs que la zona on surten i fan l'aproximació totes les aeronaus amb sortida o destinació a l'aeroport de París – Charles de Gaulle sigui el que més flux de moviments tingui.

Seguidament el segon sector [\(Fig. 4.3\)](#) es troba una mica al sud de París. Aquest però engloba una quantitat de nivells de vol important per la qual cosa molts avions que sobrevol·lin França a nivell de creuer tenen números de creuar-lo. Tenint en compte a més que pel trajecte pot ser la zona de sortides de l'aeroport de la capital per la zona sud, té sentit que tingui un important nivell d'entrades, encara que força menor que l'anterior.

Els següents de la llista [\(Fig. 4.4\)](#) i [\(Fig. 4.5\)](#) són 2 sectors a mitja alçada (nivell TMA) de l'aeroport de Burdeos – Mérignac. Tot i ser un aeroport important, aquest no té una quantitat de vols tan alta per fer dels seus sector el 3r i 4t més transitats ja que altres aeroports a França com el de Niça tenen més operacions [\[8\]](#). Dit això és provable que aquests dos sectors siguin zona de pas d'altres aeronaus que volen per l'espai aeri francès.

A la figura [\(Fig. 4.6\)](#) es pot veure tots els sectors a la vegada. Aquesta imatge (exceptuant la zona dels aeroports de París) només fa que confirmar l'afirmació que, per la seva localització, poden ser llocs de pas d'avions que sobrevolen França però no hi tinguin ni origen ni destí allà sinó a altres llocs d'Europa o el nord d'Àfrica. És per això que són els que més volum de trànsit aeri tenen.

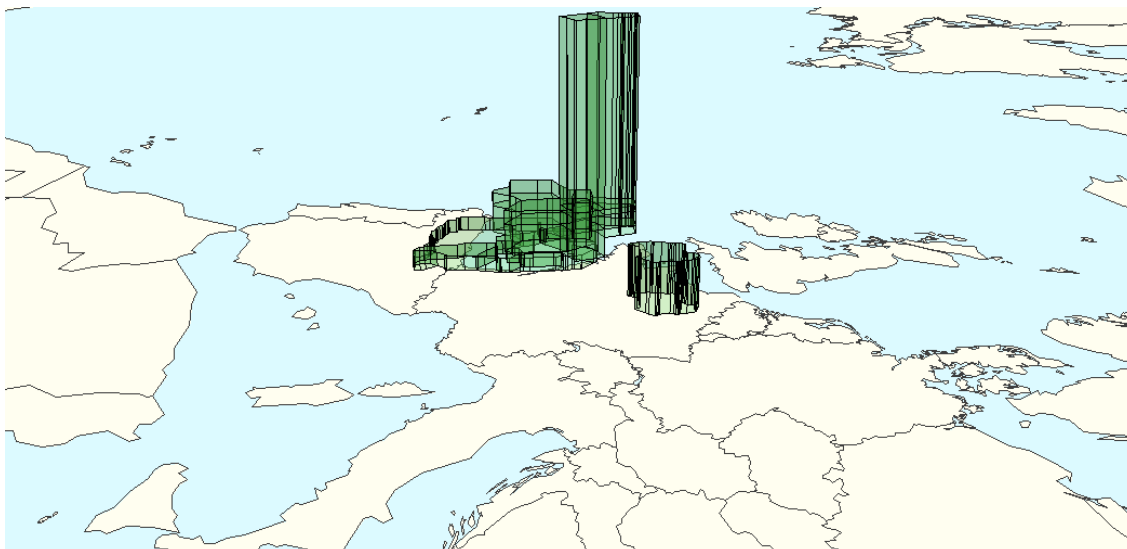


Fig. 4.6 Imatge dels 4 sectors amb més entrades a França

Un cop fet això pel fitxer M1, s'ha fet el mateix pel la informació dels vols reals volats el 05/03/2018 (format M3). Ja que aquests han patit regulacions per part de l'ETFMS, és d'esperar que els sectors més congestionats analitzats anteriorment, pateixin alguna modificació a la baixa en benefici d'altres que no ho estan tant. Això es pot veure perfectament en la figura [\(Fig. 4.7\)](#).

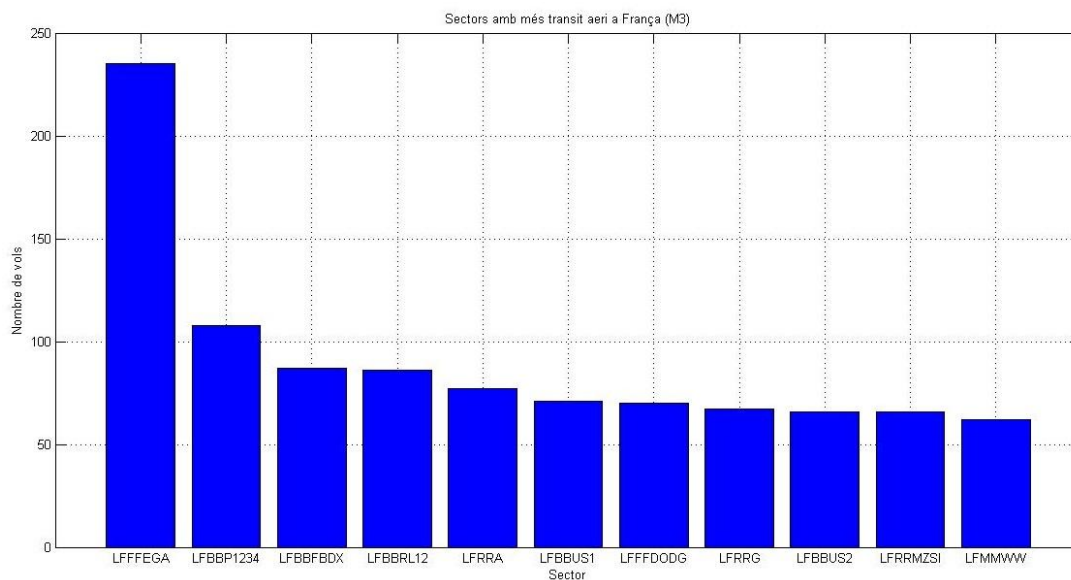


Fig. 4.7 Sectors amb més entrades a l'espai aeri francès (M3)

A la següent taula [\(Taula 4.2\)](#) es poden observar aquests petits canvis amb més detall:

Taula 4.2 Resultat en nombre de vols (M3)

Sector	Nombre de vols	Mitjana de vols per hora
LFFFEGA	235	117.5 vols/h
LFBBP1234	108	54 vols/h
LFBBFBDX	87	43.5 vols/h
LFBBRL12	86	43 vols/h
LFRRRA	77	38.5 vols/h
LFBBUS1	71	35.5 vols/h
LFFFDODG	70	35 vols/h
LFRRRG	67	33.5 vols/h
LFBBUS2	66	33 vols/h
LFRRMZSI	66	33 vols/h
LFMMWW	62	31 vols/h

Tot i l'aparició d'algun sector nou com el "LFRRRG", els primers llocs es pot veure que no han variat. Això si, es pot observar un lleuger descens en el nombre de vols dels volums més transitats. La cosa es compensa a mesura que es baixa per la taula, on sectors com el "LFRRRA" o el "LFBBUS2" han vist incrementades les seves entrades proporcionalment segurament per desviacions d'aeronaus que havien de passar per zones més plenes.

A tot això s'ha plantejat la següent pregunta: És factible treballar a una capacitat de vols per hora tan elevada?

La resposta s'ha trobat buscant la capacitat de l'aeroport de París – Charles de Gaulle [9]. Aquesta segons el document esmentat, pot arribar fins als 115 moviments per hora. Vist així pot semblar que el sector corresponent a París "LFFFEGA" amb una afluència de trànsit que ha arribat als 117.5 vols/hora, pot semblar que està congestionat. Però si es té en compte que a la capital també s'hi troba el 2n aeroport amb més operacions a França com ho és París – Orly, porta a pensar que la capacitat efectiva d'aquest sector ha de ser capaç d'assumir tots els vols d'aquests dos aeroports i per tant estarà molt per sobre dels 115 avions/hora.

Així doncs podem concloure que efectivament pot ser real tenir una capacitat de 117.5 vols/h.

CONCLUSIONS

L'objectiu d'aquest projecte era poder crear un programa que permetés contar les entrades d'aeronaus dins un sector ATS. D'aquesta manera s'ha pogut realitzar un estudi de trànsit de l'espai aeri de França.

Per fer-ho s'ha vist com s'organitza l'espai en el món de l'aeronàutica. També s'ha après a treballar amb l'entorn de dades DDR2 que facilita EUROCONTROL per poder fer recerca sobre vols que passen per Europa. S'han explicat els formats de tots els possibles arxius que s'han fet servir ja fossin de dades de vol (M1, M3, So6, T5) com d'informació sobre l'espai aeri (ARE, SLS, SPC, CFG, COS).

Un cop explicat tot això, s'ha creat primer un programa que transformés dades de vol de format So6 a format T5, format que permet la lectura dels sectors més fàcilment.

A tot això s'han hagut de fer una sèrie de suposicions:

- S'ha utilitzat un sistema de referència terrestre ECEF amb les dades del sistema WGS84 per determinar la forma de la Terra.
- S'ha considerat que des del punt inicial d'un segment de vol fins al seu punt final, l'espai aeri disponible es manté constant i no en varia la sectorització.
- S'ha considerat una trajectòria de les aeronaus a salts per segments. Això implica que sempre seguiran un nivell de vol durant tot el recorregut d'un segment i si durant aquest espai l'aeronau pateix un canvi d'altitud, aquest no serà efectiu fins que no comenci el segment següent. També implica que si es creuen dos sectors en un sol vector, es considerarà com si els hagués creuat a la vegada.

Per comprovar la funcionalitat d'aquest primer programa, s'han validat una sèrie d'exemples comparatius amb el programa NEST d'EUROCONTROL.

Finalment, s'ha fet un altre programa que permet llegir el format T5 creat per l'anterior i realitza la feina de contar les entrades dels sectors per poder posteriorment fer un estudi real.

A causa de la lentitud del codi informàtic, s'ha hagut de delimitar la recerca a realitzar. Aquesta s'ha fet en les següents condicions:

- S'ha estudiat un sol dia laborable (05/03/2018) sense èpoques de vacances properes per representar un dia normal de trànsit.
- S'han acotat les hores de pas dels sectors de 07:00 a 09:00 UTC del matí per reduir el nombre de vols.
- S'ha tingut en compte només l'espai aeri de França.
- S'ha fet el càlcul pel fitxer de dades M1 i pel fitxer de dades M3.

Els resultats mostren els sectors amb més volum de moviments de l'estat francès, el qual l'espai aeri de París, la seva capital, n'ha resultat ser la que té un nombre més elevat d'operacions.

També s'ha pogut observar la diferència entre els vols programats amb els plans de vol (M1) i els vols efectuats realment (M3) on aquests últims es podia observar una lleu descongestió dels sectors més concorreguts en benefici dels que no ho estan tant.

Per acabar aquest projecte, a continuació es donen una sèrie d'idees per millorar aquest TFG que es poden utilitzar per fer altres Treballs de Fi de Grau:

- Per poder fer un arxiu T5 més exacte, es podria intentar calcular el punt d'intersecció exacte mitjançant altres algorismes per fer els càlculs [10]. Això permetria poder aproximar l'altitud de l'aeronau en cada moment i no caldria suposar una trajectòria com la que es mostra a la figura (Fig. 3.3). De la mateixa manera permetria saber el moment exacte en que es creua de sector i no s'haurien d'assumir errors com el que s'han vist a la prova 2 (Fig. 3.10).
- Per poder tenir més temps a l'hora de poder realitzar diferents estudis més complexos (més vols en una zona major), es pot intentar optimitzar el codi informàtic de manera que pugui funcionar més ràpidament. Alguna idea per realitzar-ho seria utilitzar punters (per no haver de col·lapsar tant el programa a l'hora de copiar grans quantitats de dades entre funcions). Un altra manera de millorar-ne l'eficiència seria mitjançant filtres que permetessin acotar la quantitat de sectors a comprovar a l'hora de calcular la intersecció d'un segment. D'aquesta manera es podria mirar de tenir en compte només els sectors que estan propers al punt del vol en qüestió.
- Finalment per millorar l'aspecte visual del programa es pot intentar implementar una millora pel que fa al codi que permet veure l'espai aeri a través de Google Earth. Les funcions actualment implementades només permeten mostrar els Airblocks que s'indiquin. Seria interessant doncs poder mostrar tots els diferents nivells d'espai aeri (Sectors, Collapsed Sectors, Configurations) d'una manera similar a com ho permet fer el NEST.

BIBLIOGRAFIA

- [1] IATA Press releases, «2036 Forecast Reveals Air Passengers Will Nearly Double to 7.8 Billion».
Disponible a: <https://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-10-24-01.aspx>
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [2] EUROCONTROL, «Home / FIR/UIR charts».
Disponible a: <https://www.eurocontrol.int/articles/firuir-charts>
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [3] EUROCONTROL OneSky, «OneSky Online Extranet / login».
Disponible a:
https://ext.eurocontrol.int/auth4u/login/login?TAM_OP=login&ERROR_CODE=0x00000000&ERROR_TEXT=HPDBA0521I%20%20%20Successful%20completion&URL=%2F&HOSTNAME=ext.eurocontrol.int&PROTOCOL=https
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [4] EUROCONTROL, «Home / NEST modelling tool».
Disponible a: <https://www.eurocontrol.int/services/nest-modelling-tool>
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [5] ENAIRE, «INSIGNIA / AIP».
Disponible a: <https://ais.enaire.es/insignia/navegador/>
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [6] JetBrains, «JetBrains / CLion».
Disponible a: <https://www.jetbrains.com/clion/>
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [7] MathWorks, «MATLAB, Matemáticas. Gráficos. Programación».
Disponible a: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [8] Wikipedia, Anexo, «Aeropuertos europeos por tráfico de pasajeros».
Disponible a:
https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Aeropuertos_europeos_por_tr%C3%A1fico_de_pasajeros
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [9] Parisaeroport, «Paris-Charles de Gaulle Airport Customer guide».
Disponible a:
https://www.parisaeroport.fr/docs/default-source/professionnel-fichiers/services-aux-compagnies-aeriennes/edito_information_paris_cdg.pdf?sfvrsn=2
[Últim accès: Setembre de 2018]
- [10] Karney, C.F.F., “Algorithms for geodesics”, *Springerlink*, 43-55 (2012).